



Formalisation Multi-Agents de la Sociologie de l'Action Organisée

Matthias Mailliard

► To cite this version:

Matthias Mailliard. Formalisation Multi-Agents de la Sociologie de l'Action Organisée. Informatique [cs]. Université des Sciences Sociales - Toulouse I, 2008. Français. NNT: . tel-00451716

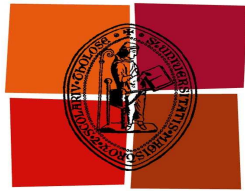
HAL Id: tel-00451716

<https://theses.hal.science/tel-00451716>

Submitted on 29 Jan 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université
de Toulouse

Formalisation multi-agents de la Sociologie de l'Action Organisée

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par *L'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse*
Discipline ou spécialité : *Informatique*

Présentée et soutenue par **Matthias Mailliard**
Le 2008

Titre : ***Formalisation Multi-Agents de la Sociologie de l'Action
Organisée***

JURY

Adreit Françoise
Amblard Frédéric
Boissier Olivier
Chevrier Vincent
Ferber Jacques
Sibertin-Blanc Christophe
(Roggéro Pascal)
(Rouchier Juliette)

Ecole doctorale : EDIT
Unité de recherche : IRIT
Directeur(s) de Thèse : Sibertin-Blanc Christophe

Table des matières

Chapitre I -Introduction.....	6
1 Modèles et construction des connaissances.....	7
1.1 De la difficulté de construire et de transmettre des connaissances.....	7
1.2 Principes du dialogue et du raisonnement.....	7
1.3 De la théorie au modèle.....	8
1.4 Modéliser et expérimenter le complexe.....	9
2 La simulation du social.....	10
2.1 Pour la sociologie, le diagnostic organisationnel et la recherche.....	11
2.2 Pour l'informatique et la théorie des systèmes complexes.....	12
3 Structure du document.....	14
Chapitre II -La sociologie de l'action organisée.....	20
1 Introduction.....	21
2 Les théories des organisations.....	21
2.1 L'école classique : les approches mécanistes de l'organisation.....	21
2.2 Les successeurs.....	24
3 La sociologie de l'action organisée.....	25
3.1 Naissance d'une sociologie des organisations française.....	26
3.2 Les fondements de la sociologie de l'action organisée.....	27
3.3 Les frontières du système et la question de l'environnement.....	28
4 De l'usage de la connaissance sociologique en simulation sociale.....	30
Chapitre III -Méta-modèle des systèmes d'action concret.....	32
1 La démarche adoptée.....	33
2 RAR : un méta-modèle des organisations sociales.....	34
2.1 L'exemple du cas Trouville.....	34
2.2 Les Ressources.....	36
2.3 Les Relations.....	37
2.3.1 Etat d'une Relation et état du système.....	38
2.3.2 Fonctions d'Effet.....	39
2.3.3 Contraintes sur la marge de manœuvre.....	40
2.4 Les Acteurs.....	40
2.4.1 Actions et transitions d'états du système.....	41
2.4.2 Objectifs et motivations : enjeux et impact.....	42
2.4.3 Une évaluation égo-centrée de la capacité d'atteinte des objectifs : le score.....	44
2.4.4 Une évaluation socio-centrée de la capacité d'atteinte des objectifs.....	45
2.4.5 Le pouvoir d'un Acteur	46
3 La formalisation mathématique du modèle RAR en bref.....	47
4 Une application élémentaire : le cas Trouville.....	50
4.1 Présentation du cas Trouville.....	50
4.2 Eléments caractéristiques du SAC.....	53
4.2.1 Limites du SAC.....	53
4.2.2 Les enjeux des acteurs.....	54
4.2.3 Les relations du SAC.....	55
5 Conclusion.....	57
Chapitre IV -Formulation mathématique et interprétation sociologique d'indicateurs.....	59
1 Introduction.....	60

2 États remarquables du système.....	63
2.1 Satisfactions extrêmes d'un acteur.....	63
2.1 Max et min de la somme des satisfactions.....	66
3 Indicateurs in situ (ou dépendant de l'état du système).....	68
3.1 Sur la nomenclature des indicateurs.....	69
3.2 Impact de l'état d'une relation sur la capacité d'action d'un acteur.....	70
3.1 Satisfaction.....	71
3.2 Pouvoir.....	72
3.3 Concession et avantage transactionnel.....	75
3.3.1 Concession.....	76
3.3.2 Avantage transactionnel.....	78
4 Indicateurs ex situ (ou purement structurels).....	79
4.1 Indicateurs relatifs aux relations.....	79
4.1.1 Pertinence d'une relation.....	79
4.1.2 Force de la relation.....	79
4.2 Indicateurs relatifs aux acteurs.....	81
4.2.1 Autonomie et dépendance simples (basées sur les enjeux).....	81
4.2.2 Autonomie et dépendance.....	81
4.3 Pouvoir structurel.....	82
5 Conclusion.....	84
5.1 Les réseaux sociaux.....	85
5.2 La théorie des jeux.....	86
5.3 Pouvoir et échange social.....	87
5.3.1 Les théories de l'échange.....	87
5.3.2 Don et potlatch.....	88
Chapitre V -Le comportement des acteurs sociaux.....	90
1 Introduction.....	91
2 Le jeu social : première pierre de la construction d'une heuristique de validation.....	92
2.1 Objectifs.....	93
2.2 Les règles du jeu.....	94
3 Rappel sur le processus de modélisation et de validation.....	95
3.1.1 Validation des modèles agents et compréhension des causes de l'émergence.....	96
3.1.2 Principes de validation de modèles de rationalité.....	97
3.1.3 Protocole expérimentale basé sur la validation croisée.....	97
3.2 Un banc d'essai pour la validation des modèles de rationalité sociale.....	98
3.2.1 Version standard du dilemme du prisonnier.....	98
3.2.2 Le dilemme du prisonnier social.....	99
3.2.3 Situations d'interaction permises par le banc d'essai.....	101
4 Un modèle de l'acteur « utilitariste » fondé sur la satisfaction.....	101
4.1 De l'utilitarisme.....	102
4.2 Mécanisme à base de règle.....	103
4.3 Algorithme.....	107
4.4 Expérimentations.....	110
4.4.1 Protocole expérimental.....	110
4.4.2 Résultats.....	111
4.4.3 Explication de la transition de phase observée.....	113
4.4.4 Validation du modèle ?.....	113
5 Un modèle de rationalité orientée vers la coopération.....	114

5.1 De la coopération.....	114
5.2 Mécanisme à base de seuil.....	116
5.3 Algorithme.....	119
5.4 Expérimentations	120
5.5 Le paramètre caché.....	127
6 Conclusion.....	127
Chapitre VI -Modélisation du cas Bolet.....	129
1 Introduction.....	130
2 Présentation du cas Bolet.....	131
3 Sur la démarche de modélisation d'un système d'action concret.....	132
3.1 Du bon ordre de l'utilisation des concepts du méta-modèle.....	133
3.2 Concernant l'identification des acteurs.....	134
4 Modélisation du cas.....	134
4.1 Les acteurs.....	134
4.2 Le contrôle des relations.....	135
4.3 Modélisation des solidarités.....	136
4.3.1 Méthodologie de modélisation des solidarités.....	136
4.3.2 Solidarités.....	137
4.4 Modélisation des relations.....	138
4.4.1 Méthodologie.....	138
4.4.2 Pré-modélisation des relations du cas Bolet.....	139
4.4.3 Modélisation des enjeux.....	140
4.4.4 Arguments pour les enjeux.....	140
4.5 Modélisation des fonctions d'effet pour les relations simples.....	142
4.5.1 Effets de la décision d'achat.....	143
4.5.2 Effet de la nature de la prescription.....	143
4.5.3 Effet de l'application de la prescription.....	145
4.5.4 Effet de l'investissement dans la production.....	145
4.6 Modélisation des fonctions d'effet et de contrôle pour les relations de contrôle.....	147
4.6.1 Méthodologie de modélisation des fonctions de contrôle.....	147
4.6.2 Effet du contrôle de la nature de la prescription.....	148
4.6.3 Contrôle de l'application de la prescription	149
5 Simulations.....	149
5.1 Analyse statique du cas Bolet selon la théorie X de Mac Greggor	150
5.1.1 Indicateurs structurels basés sur les enjeux.....	150
5.1.2 Indicateurs structurels basés sur les effets : pouvoir.....	151
5.1.3 Analyse des états remarquables.....	154
5.1.4 Pouvoir, don, concession.....	156
5.2 Analyse statique du cas Bolet selon la théorie Y de Mac Greggor	158
5.3 Simulations.....	159
5.3.1 Protocole expérimental.....	159
5.3.2 Analyse des simulations pour la théorie X.....	160
5.3.3 Analyse des simulations pour la théorie Y.....	165
6 Conclusions.....	166
Chapitre VII -SocLab.....	167
1 Introduction.....	168
1.1 Finalités.....	168
1.2 Principe fonctionnel.....	169

2 Architecture logicielle.....	169
2.1 Java : deux pas en avant, trois pas en arrière ?.....	169
2.2 L'organisation modulaire de SocLab.....	171
2.3 Architecture du simulateur.....	172
3 Module d'édition.....	173
4 Module d'analyse statique.....	175
5 Module de simulation.....	175
6 Module de synthèse.....	176
7 Outils de visualisation.....	177
8 Conclusion.....	178
Chapitre VIII -Conclusion.....	180
1 Apports de la thèse.....	181
2 Perspectives.....	183
3 Des plaisirs et des difficultés de la transdisciplinarité.....	184
Bibliographie.....	186

Chapitre I – Introduction

1 Modèles et construction des connaissances

La formalisation d'une théorie sociologique pour produire des simulations peut susciter quelques interrogations sur la finalité d'un tel projet, à commencer par le statut de la connaissance produite. C'est à cette question que nous tenterons de répondre dans cette section en montrant d'une part en quoi la modélisation est un acte de construction de connaissances, et d'autre part en quoi la modélisation et la simulation informatique sont des outils ergonomiques pour co-construire et échanger des points de vue sur des phénomènes complexes.

1.1 De la difficulté de construire et de transmettre des connaissances

Cela fait bien longtemps que l'Homme, cherchant à embrasser la réalité et à maîtriser l'incertitude de son environnement, a mis en lumière la nécessité d'interroger les processus d'acquisition et de transmission de la connaissance. Les expériences sensorielles de son environnement physique et chimique, les représentations et pratiques transmises par son environnement culturel, ou les heuristiques qu'il met en œuvre pour raisonner, peuvent apparaître comme autant de pièges sur le chemin de la construction d'un savoir, dénué de biais et de prénotions, et sur lequel il porte quelque forme de réflexivité. En tant qu'*animal social*, l'Homme ne peut toutefois pas effectuer individuellement un tel cheminement qui est nécessairement collectif. Se pose alors les problématiques liées à la transmission des connaissances, que ce soit au niveau de l'acte de donner – enseigner, qu'au niveau de l'acte de recevoir – apprendre. Dans la littérature occidentale, les problèmes de l'acquisition et de la transmission des connaissances trouvent leurs racines chez les philosophes grecs de l'antiquité. Ainsi, Socrate usait-il de la maïeutique, l'art de faire accoucher des esprits. Par la mise en place d'un interrogatoire fermé où seules l'acceptation ou la réfutation des propositions du sage pouvaient être émises, Socrate parvient à enseigner le plus savant des théorèmes au plus sot des hommes [Platon, 1979], le persuadant par ailleurs que ce savoir était déjà en lui. L'emploi de la maïeutique pour transmettre des connaissances tient de l'art, elle est l'expression de l'expérience, de la qualité de la rhétorique, voire des intentions de l'accoucheur. Elle se fonde pourtant sur une véritable méthode rigoureuse, faite d'enchaînements logiques, qui s'inquiète de la réflexivité du receveur de la connaissance. Dans l'allégorie de la caverne [Platon, 1999], Socrate met en évidence la difficulté de l'accès et de la transmission des connaissances. Des hommes vivant enchaînés en contrebas d'une caverne, ne voyant que leurs ombres et celles des voyageurs passant devant l'entrée de la caverne, sont persuadés que les ombres qu'ils perçoivent sont la réalité et sont bien incrédules à ce que leur raconte l'un des leurs qui a pu voir le monde à la lumière du jour. Socrate expose ainsi les tromperies des sens et justifie le rôle du philosophe dans l'accompagnement vers la connaissance de ceux qui ne savent pas qu'ils ignorent.

1.2 Principes du dialogue et du raisonnement

La maïeutique n'est bien sûr pas la seule forme d'échange, avec autrui ou soi-même, permettant la construction de connaissances. Le propre du langage et du raisonnement humain est d'être flou et perfectible, ambigu [Chomsky, 1988] et limité [Simon, 1969]. Il convient alors d'adopter des règles pour dialoguer. Ainsi la dialectique de Socrate et celle d'Aristote mettent en avant le principe du doute, du scepticisme et de la réfutation. L'objectif n'est pas tant de produire des connaissances scientifiques que d'éclaircir les catégories mobilisées dans le raisonnement. La dialectique Hégélienne propose d'établir des relations entre des catégories opposées par le principe de composition. Quant à Descartes, il exposera ses principes hypothéticodéductifs et réductionniste dans son *Discours de la méthode*. Plus récemment, la dialogique de Morin [Morin, 1996] va plus avant dans la construction des connaissances : à la différence de la

dialectique de Hegel, il ne considère pas que les antagonismes doivent être dépassés et résolus de façon définitive mais que la contradiction qui les oppose leur est consubstantielle, et donc indépassable. Cette dernière méthode de raisonnement vise à faire adopter à l'observateur un nouveau cadre d'analyse, ce n'est pas qu'il mobilisera des connaissances plus fines ou qu'il les agencera autrement, mais il en aura construit de nouvelles, créant ainsi une rupture avec le langage qu'il mobilisait au départ et qui enfermait son raisonnement. Dans le domaine des sciences de la nature, l'échange de points de vue ou de théories est guidé par le principe de falsifiabilité des théories [Popper, 1935]. Karl Popper, refusant de tenir le raisonnement par induction comme preuve de véracité, pose qu'aucune théorie ne peut être prouvée mais qu'elle est considérée comme *non invalidée* jusqu'à preuve du contraire. Sur cette base, il distingue alors les théories pouvant être falsifiables de celles qui ne le peuvent pas car l'observation ou l'expérimentation ne sont pas possibles, ces dernières n'étant alors pas considérées comme scientifiques. Cette posture a le *mérite* d'évincer toutes les sciences sociales du champ scientifique.

Les règles pour bien dialoguer sont indissociables des règles de la logique : celles qui permettent de conduire une bonne déduction. Aristote en pose ainsi les bases avec le syllogisme qui de deux prémisses permet de produire une conclusion. S'en suivra à travers l'histoire, une série d'interrogations et d'avancées, conduisant à la logique mathématique formelle. On retiendra, parmi d'autres, la volonté de Leibniz de formaliser les opérations de la pensée ; l'algèbre de Boole qui accomplit le projet de Leibniz et permet de mettre en équations des idées et des concepts afin de leur appliquer des opérations (*Les Lois de la Pensée*) conduisant à de nouvelles connaissances ; Russell et Whitehead prolongent ce projet en axiomatisant un pan des mathématiques ; Turing qui avec son modèle de machine ouvre la voie de l'automatisation des démonstrations ; la logique floue de Zadeh qui permet de s'extraire de la logique binaire...

1.3 De la théorie au modèle

Les règles de raisonnement et de dialogue basées sur les principes hypothético-déductifs et le réductionnisme cartésien posent toutefois certains problèmes.

Les langages formels et la logique mathématique permettent certes d'éviter les ambiguïtés, de garantir la construction de certaines formes de raisonnement et d'automatiser des démonstrations, ils n'en demeurent pas moins peu ergonomiques, difficiles à articuler et insuffisants pour s'emparer de l'ensemble des problèmes, toujours plus complexes, auxquels l'homme est confronté. Ainsi les enfants n'apprennent pas le lambda-calcul, les décideurs publics encore moins, et aucun ordinateur n'a encore battu un bon joueur de go. Par ailleurs comment traiter des problèmes de l'homme en adoptant une posture qui exclut les sciences humaines et sociales du champ scientifique ? De plus, si le réductionnisme a permis de multiplier les connaissances, il les a aussi isolées au sein de disciplines fortement cloisonnées, amenant le champ scientifique à une *hyper-spécialisation*.

Face à ces limites, un changement paradigmatique [Kuhn, 1962] s'opère tendant à définir un autre statut de la connaissance. Celle-ci n'a plus vocation à être explicative mais compréhensive (Weber, [Durand & Weil, 2006]) ou intelligible ([Le Moigne, 1995], [Morin, 1977]). Elle n'est pas en soit un objet mais un système organisé. Elle ne s'abstrait pas de la subjectivité de son concepteur mais intègre ses intentions. Dans les sciences cognitives [Berthoz, 2003] comme dans les épistémologies constructivistes [Le Moigne, 1995] on parlera alors de modèles dans son acception comme représentation construite d'un phénomène ou d'une situation, permettant la simulation mentale de l'action [Berthoz, 2003]. La construction de modèles, ou modélisation, est en soit une action d'apprentissage au sens de Piaget, c'est à dire

d'un apprentissage en action, par construction, manipulation et expérimentation. La modélisation est ainsi un *instrument de production et d'exposition des connaissances* [Le Moigne, 89].

1.4 Modéliser et expérimenter le complexe

Ce changement paradigmatique comporte plusieurs courants que l'on peut regrouper sous la bannière des sciences de la complexité. Celles-ci s'attachent notamment à comprendre l'émergence de phénomènes organisationnels. C'est-à-dire à comprendre comment les interactions et les rétroactions qui relient les éléments d'un système s'organisent en son sein, face à l'environnement et dans le temps, de telle sorte que le système présente des qualités particulières que l'on qualifiera d'émergentes. En la matière, la pensée complexe [Morin, 2005] que propose Edgar Morin est l'une des plus intéressantes. Celle-ci s'appuie sur les idées développées dans la théorie de l'information [Shannon & Weaver, 1949], de la cybernétique [Wiener, 1962] et de la systémique [Le Moigne, 1989], qu'il complète par les idées développées par les théoriciens de l'auto-organisation (von Neumann, von Foerster, Atlan, Prigogine, Varela), et qu'il s'approprie et développe en proposant plusieurs principes de construction de la connaissance comme le principe dialogique. De la pensée de Morin, deux aspects nous intéressent plus particulièrement. Sa définition étymologique du complexe et sa posture de *co-constructiviste*.

Morin définit ainsi le *complexus* comme *se qui se tisse ensemble*. Ce qui se tisse ensemble porte autant sur les organisations et phénomènes étudiés que sur la connaissance construite. La modélisation peut alors se penser comme une construction collective, où le dialogue et l'échange de points de vue (de modèles) sont essentiels pour s'emparer de la complexité du phénomène étudié. Dans un article récent, Morin se définit comme un *co-constructiviste* dans le sens où la *construction de la réalité* (des connaissances) est une *collaboration du monde extérieur et de notre esprit* [Morin, 2005]. Cette posture, certainement influencée par les travaux de Maturana et Varela sur les interactions système-environnement, conduit à une réflexion sur l'instrumentalisation de l'environnement pour la construction collective de modèle.

Les modèles informatiques ont alors ceci d'intéressant qu'ils permettent d'extérioriser la connaissance ainsi construite. L'avantage est multiple. Tout d'abord, comme le papier où les livres, le fait de disposer d'une mémoire *extériorisée* permet de dépasser les limites de la cognition individuelle. La modélisation peut alors être collective, un ensemble de chercheurs peut manipuler le modèle. Ensuite la construction d'un modèle, comme formalisation de représentations, conduit à préciser, voire remettre en cause, ces mêmes représentations par la rigueur qu'exige la définition des éléments et de leurs relations ; dans notre travail de formalisation de la sociologie de l'action organisée, nous avons été plusieurs fois confrontés à cette nécessité. Enfin, les modèles informatiques offrent la possibilité d'expérimenter en effectuant des simulations. La réalisation d'opérations qui dépassent de loin les capacités de l'esprit humain ouvrent de nombreuses possibilités pour la manipulation de modèles et par là leur compréhension.

Les modèles informatiques ne prétendent certes pas à autant de richesse que les modèles exprimés en langage naturel, mais ils sont d'excellents vecteurs d'acquisition et de transmission de connaissances, puisqu'ils permettent un apprentissage enactif. Leur forme désambiguïsée¹ facilite par ailleurs la définition de traitements qui peuvent leur être appliquées. Ils représentent dès lors des outils ergonomiques de premier choix dans les projets de construction collective et interdisciplinaires de connaissances.

1 Cela ne veut pas dire que leur interprétation ne l'est pas.

2 La simulation du social

La volonté de formaliser le comportement et les interactions des acteurs sociaux est un vieux projet dans les sciences sociales, [Coleman, 1990] hier, [Lindenberg, 2005] aujourd'hui, en passant bien sûr par [March & Simon, 1958], et les théoriciens des jeux ([von Neumann & Morgenstein, 1944], [Nash, 1950]). Or ces derniers sont également des précurseurs dans le domaine de l'intelligence artificielle (par exemple, H. Simon a obtenu le prix Nobel d'économie en 1978 et la médaille A.-M. Turing en 1975, sans oublier la médaille de l'American Psychological Association en 1993).

Deux approches peuvent être distinguées, pour s'en tenir à celles qui permettent d'aborder la dynamique d'un phénomène par la simulation, et qui donc sont liées à l'utilisation des ordinateurs : la dynamique des systèmes due à J. Forrester [Forrester, 1961] et l'approche dite individu-centrée. La dynamique des systèmes consiste à identifier les variables essentielles qui caractérisent un phénomène au niveau macro et à définir les relations entre ces variables au cours du temps, le plus souvent avec des équations différentielles, un exemple paradigmatique étant la propagation des épidémies. L'approche individu-centrée consiste à identifier au niveau micro les éléments actifs d'un système et à les doter d'un comportement qui leur permet d'interagir les uns avec les autres. Les limites de l'analyse des systèmes tiennent à qu'elle suppose, du moins implicitement, que les éléments actifs du système sont homogènes, les coefficients intervenant dans les relations entre les variables étant déterminés de façon probabiliste ; les phénomènes rares qui résultent d'interactions entre les singularités des éléments sont donc gommés. L'approche individu-centrée permet donc une étude beaucoup plus fine des phénomènes complexes ; par ailleurs, elle relève directement de l'informatique alors que la dynamique des systèmes, même instrumentées par des logiciels de simulation, relève davantage de la recherche opérationnelle.

L'usage de la modélisation et de la simulation numérique individu-centrée dans les sciences sociales remonte au début des années 70, appliquées à des phénomènes dans les domaines de la gestion et de la microéconomie tels que la prise de décision selon le modèle du « garbage can » [Cohen et al., 1972], le modèle de la ségrégation résidentielle [Shelling, 1978] ou le tournoi du dilemme du prisonnier itéré [Axelrod, 1984]. Cette approche est actuellement en plein essor dans les sciences sociales (voir par exemple la revue JASSS, les congrès tels que ceux de l'European Social Simulation Association, World Congress on Social Simulation, International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems, European Conference on Modelling and Simulation et bien d'autres).

De la dynamique des systèmes et autres approches globalisantes à la modélisation individu-centrée, le chemin peut être comparé à celui de l'intelligence artificielle des débuts vers les systèmes multi-agents, et il peut être rapporté sans doute au développement de la capacité de calcul des ordinateurs, mais surtout au développement de la théorie des systèmes complexes : pour comprendre le phénomène central de l'émergence, il faut regarder finement, dans les détails, comment interagissent les différentes logiques qui sont à l'œuvre dans les comportements.

La simulation multi-agent s'avère donc en totale adéquation avec la méthodologie individu-centrée des recherches en sciences sociales. L'intérêt suscité par cette approche de la modélisation réside essentiellement dans sa capacité à produire virtuellement des représentations de processus interagissant les uns avec les autres et rendant compte d'un phénomène qualifié de complexe. Notre thèse se positionne ainsi dans ce contexte, où la modélisation passe par *l'articulation entre l'individuel et le collectif* [Chevrier & Huguet, 2006]. Se basant sur le postulat que l'intelligence est un processus émergent de nombreuses interactions (un modèle du cerveau)

[Minsky, 1987], [Brooks, 1990], ces approches prennent le parti de multiplier les interactions et le nombre d'entités tout en réduisant le nombre de règles guidant le comportement des entités. La principale difficulté d'un système composé de nombreuses entités est de gérer la coordination des diverses activités de chacune, de les agencer, de prendre en compte le rôle de l'environnement et déterminer comment le mobiliser et s'y adapter, bref il faut s'intéresser aux moyens d'organiser et de réguler le système.

Le hasard des opportunités a fait que, parmi les nombreux objets de recherche que compte le monde social, nous nous sommes intéressé à la modélisation des organisations sociales telles qu'elles sont considérées par Crozier et Friedberg dans leur théorie : la sociologie de l'action organisée (SAO), et ce dans le cadre d'un projet mené en collaboration avec des sociologues spécialistes de ce champ d'étude [Roggéro, 2006]. La SAO trouve certes ses origines dans la théorie des organisations, mais la densité de la réflexion sociologique sur le phénomène organisation l'a aujourd'hui instituée en tant que sociologie générale.

La plupart des travaux dans le domaine de la simulation des systèmes sociaux portent sur des phénomènes spécifiques tels que la diffusion d'opinions ou de pratiques, la constitution et l'évolution de réseaux ou bien la dynamique de mouvement sociaux, et ce dans un contexte assez précis. Leur principale limite tient à ce que les modèles produits reposent sur la représentation que les auteurs se font du phénomène étudié, et que le plus souvent cette représentation ne s'inscrit pas explicitement dans une théorie du social. Le domaine de validité dans le champ social des résultats produits reste alors indéterminé. Dans cette ligne, nos premiers travaux en collaboration avec les sociologues du projet ont porté sur la simulation du fonctionnement et de l'évolution d'une organisation particulière, le système politique territoriale constitué autour de l'établissement de pays dans le sud de l'Aveyron ([Mailliard et al., 2003], [Mailliard et al., 2004]). C'est notre incapacité à rendre compte de façon satisfaisante du fonctionnement de cette organisation qui nous a incité à formaliser le cadre théorique implicitement utilisé par les sociologues pour nous présenter ce cas, à savoir la SAO elle-même, quitte à revenir ensuite à son application à ce cas d'espèce mais alors muni d'un formalisme dont l'interprétation dans le domaine du social est bien définie.

Plutôt que de s'emparer de cas empiriques et de produire des modèles ad'hoc, nous proposons donc une démarche innovante consistant à formaliser la théorie elle-même, en donnant les outils nécessaires pour décrire de façon formelle la structure et le comportement des objets sociaux qui relèvent du domaine de la SAO et que Crozier et Friedberg dénomment des *systèmes d'action concrets*.

2.1 Pour la sociologie, le diagnostic organisationnel et la recherche

Les enjeux du projet pour la sociologie sont de pouvoir construire des modèles formels d'organisations sociales \neq la Crozier et d'un laboratoire virtuel pour l'expérimentation, pratique absolument inédite dans cette discipline.

Sur le plan théorique, la formalisation des concepts de la SAO devrait permettre d'en éprouver la cohérence interne pour, éventuellement, l'amender. Il s'agit donc d'un outil heuristique permettant l'investigation théorique sur la structuration et l'évolution des SAC. Cet outil d'expérimentation virtuelle serait un puissant stimulant de la recherche théorique dans la mesure on pourrait donner un contenu opératoire à une idée développée par Y. Barel (1977), celle de la dimension potentielle des systèmes sociaux. Un système social, entre autres une organisation, connaît un état actualisé mais aussi une dimension potentielle. A l'aide de la simulation il paraît envisageable d'éclairer cette dimension potentielle des organisations en

modifiant quelques paramètres des SAC pour examiner la manière dont ils auraient pu se structurer. Dans ce sens, de manière plus concrète, on peut envisager d'identifier, dans une organisation donnée, des zones critiques décisives dans son évolution. Cette perspective peut être utile notamment dans l'identification des résistances au changement. Une telle formalisation pourrait aussi permettre l'expérimentation virtuelle généralisée par laquelle il serait possible d'établir des typologies de processus organisationnels — structuration et histoire de la structuration des systèmes d'actions - créant les conditions d'une heuristique théorique forte. Les avancées théoriques pourraient être significatives dans le champ de l'analyse organisationnelle.

D'un point de vue empirique, si la SAO a donné lieu à de nombreuses applications de qualité, elle est néanmoins obérée par un usage quasi-exclusif de techniques qualitatives (entretiens semi-directifs, analyse des sources documentaires, éventuellement observation participante et plus rarement enquêtes par questionnaires). Cette formalisation peut devenir un outil de "validation" formelle de l'investigation sociologique de terrain qui fait aujourd'hui défaut et qui pourrait permettre une sorte de validation expérimentale, virtuelle des diagnostics organisationnels qui se limite aujourd'hui à la seule manière dont les acteurs concernés par l'étude reçoivent les résultats. A ce titre, il pourrait constituer un outil complémentaire accompagnant tout diagnostic organisationnel. La possibilité d'appliquer le méta-modèle de manière systématique à de nombreux cas concrets pourrait aussi autoriser l'établissement de typologies de relations de pouvoir, de régulations à l'œuvre dans les SAC et donc des formes organisationnelles. De plus, la perspective d'arriver à décrire « la séquence génétique des SAC » évoquée par Friedberg (1993) mais jamais réalisée, peut être envisagée dans le cadre de ce projet.

Enfin, dans le domaine de la pédagogie, les bénéfices que l'on peut tirer d'un environnement de manipulation et de simulation des organisations sont évidents.

2.2 Pour l'informatique et la théorie des systèmes complexes

Pour sa part, l'intérêt de l'informatique pour un tel projet tient à ce qu'elle est confrontée à l'ingénierie de systèmes de plus en plus complexes dont la maîtrise de leur (auto-)régulation et évolution s'avère problématique.

Depuis plus de deux décennies, certains domaines des sciences de l'homme – neurosciences, sciences cognitives, psychologie ou ergonomie parmi d'autres – ont rencontré de manière féconde des champs de la recherche en informatique – intelligence artificielle, représentation et traitement des connaissances, logiques modales, Systèmes Multi-Agents notamment. La formalisation ou l'exploitation métaphorique des théories et résultats empiriques des sciences de l'homme ont permis la production de modèles computationnels qui se sont avérés extrêmement utiles en informatique et ont, en retour, permis de préciser certains aspects et d'outiller ces théories.

De même, l'éthologie et plus particulièrement l'étude des insectes sociaux a inspiré les systèmes à base d'agents réactifs et indirectement le domaine actuellement très actif de la simulation individu-centrée. Ces mécanismes sont remarquables à maints égards, en particulier par leur efficacité (économie des moyens utilisés) et leur robustesse (flexibilité, aptitude à fonctionner de façon satisfaisante dans de très larges variétés de circonstances).

La même synergie n'a pas encore eu lieu, particulièrement dans le monde francophone, entre les sciences de la société et l'informatique. Pourtant on peut penser qu'une collaboration plus active entre sociologie et informatique est de nature à produire des résultats mutuellement utiles aux deux disciplines. Si l'on considère les mécanismes mis en œuvre par les acteurs

sociaux dans les processus qui assurent le fonctionnement des organisations humaines et plus généralement des systèmes d'actions organisées, il est raisonnable de penser qu'ils présentent les mêmes caractéristiques. Ces mécanismes sont ceux utilisés dans les sociétés animales, auxquels s'ajoutent des mécanismes spécifiques des aptitudes humaines. Parmi les caractéristiques de ces mécanismes, on retrouve les mêmes que pour les sociétés animales, certaines poussées à un plus haut degré ; par exemple, l'extrême *diversité des situations* et environnements dans lesquels ils peuvent être déployés ; et surtout, la *différentiation* des individus qui fait qu'ils ne sont en rien interchangeables, chacun poursuivant des objectifs qui lui sont propres. A notre connaissance, le transfert méthodique et épistémologiquement fondé des résultats de la théorie des organisations aux systèmes artificiels complexes n'a pas été entrepris. Si l'on regarde l'étendu et la diversité l'hétérogénéité du corpus de cette théorie la difficulté de la tâche paraît considérable. Mais les chercheurs francophones bénéficient d'un handicap favorable dans ce domaine: l'école française de la sociologie des organisations dispose d'une théorie, la SAO, qui est suffisamment bien définie pour que son transfert soit envisageable.

De par la généralité de cette théorie, une formalisation de la SAO est susceptible d'être appliqué à des phénomènes organisationnels non humains par le transfert, l'adaptation des concepts et mécanismes de la SAO aux systèmes informatiques. Si l'on regarde les concepts de la SAO à niveau d'abstraction suffisant, faisant abstraction de leur interprétation purement sociologique et utilisant la terminologie de l'informatique, il reste un système finalisé, des processus partiellement autonomes et eux aussi finalisés et des ressources partagées. On est là en présence de concepts très abstraits, susceptibles d'applications dans de très larges domaines si l'on dispose de mécanismes qui les rendent opérationnels.

Citons trois domaines dans lesquels le transfert de modèles de la SAO vers l'informatique et la théorie des systèmes complexes semble prometteur.

Notre projet s'inscrit bien évidemment dans le contexte des recherches sur *l'émergence* dans les sociétés artificielles. Les organisations sociales sont des systèmes dans lesquels les règles formelles et les normes informelles tout à la fois s'imposent aux acteurs et sont l'enjeu de leurs conflits, chacun cherchant à légitimer et faire reconnaître par les autres ses intérêts propres ; cela tient pour une large part à la différenciation des acteurs sociaux. Par ailleurs, il n'est d'être humain que social ; les organisations sont donc des systèmes dans lesquels les interdépendances entre les niveaux micro et macro, le local et le global sont absolument constitutives, et de ce fait d'un degré de complexité que l'on ne rencontre pas dans d'autres systèmes.

Depuis une dizaine d'années, de nombreux travaux dans le domaine des SMA ont mis l'accent sur la *dimension organisationnelle* de ces systèmes, montrant la nécessité de passer d'une conception centrée agent des SMA à une conception centrée organisation. Selon la conception *centrée agent*, un SMA est une collection d'agents essentiellement autonomes qui peuvent interagir sans contrainte chacun avec tous les autres, et les questions essentielles portent sur la structure et la rationalité de ces agents. Selon une conception *centrée organisation*, la structure de chaque agent importe moins que son rôle dans le système, et les questions essentielles portent davantage sur la structure des interactions entre les agents : avec quels autres agents, comment et dans quelles circonstances un agent peut ou doit-il interagir, et avec quel effet ? Définir un système, c'est d'abord définir son organisation qui doit être considérée comme un objet de premier rang aux niveaux de la spécification, la validation, la conception et l'implantation. Considérés comme un artefact, la plupart des SMA correspondent assez bien aux caractéristiques d'un système d'action concret dont les acteurs seraient artificiels. Les organisations sociales possèdent à l'évidence des qualités de robustesse, de flexibilité et

d'adaptabilité qui sont hautement désirables pour tous les systèmes (notamment les Systèmes Multi-Agents et les systèmes de systèmes). On est alors en droit de penser que les mécanismes de coordination dégagés par une formalisation de la SAO peuvent être adaptés aux SMA sous la forme d'un modèle général du niveau organisationnel des SMA. Les travaux sur la coordination par protocoles dans les SMA [Hanachi, 2004] associés à une gestion de l'autonomie des agents selon les principes de la SAO pourraient conduire à un nouveau modèle de coordination dans les SMA.

Enfin, la conception d'entités artificielles dont le comportement soit basé sur des mécanismes à l'œuvre dans les processus organisationnel est un point de passage obligé pour tout un ensemble d'applications innovantes, dans la veine du programme européen *Pathfinder*. On pense ici aux SMA qui sont en très forte interaction avec des acteurs humains et peuvent être vus comme des organisations hybrides constituées tout à la fois d'acteurs humains et d'acteurs logiciels voire matériels : une condition cognitive pour que les personnes puissent s'investir dans de tels systèmes est sans doute que leur composante artificielle adopte des comportements socialement vraisemblables, basés sur les mécanismes mis en lumière par la SAO. Il en est de même des avatars logiciels destinés à exécuter des tâches aux mieux des intérêts de leur propriétaire. Le domaine des jeux vidéo, qui est la source et le domaine d'application de nombreuses innovations technologiques, est sans doute aussi un secteur dans lequel des modèles de comportement inspirés de la SAO seraient très utiles.

Cette thèse s'inscrit donc dans le cadre d'un projet trans-disciplinaire, chaque discipline s'appuyant sur l'autre pour produire des avancées dans son propre champ.

3 Structure du document

Les principaux résultats de notre recherche font l'objet des différents chapitres de ce mémoire.

Le chapitre II présente notre objet d'étude, la sociologie de l'action organisée due à M. Crozier et E. Friedberg, dans le contexte de la théorie des organisations, domaine à la confluence de la gestion, l'économie, l'ergonomie cognitive, la psychologie, la psychosociologie, la philosophie sociale et, bien sûr, la sociologie. On verra que le concept d'organisation, qui a émergé à partir des premières interrogations, dans la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, sur les entreprises et l'administration, continue à susciter de nombreuses réflexions. Autant que faire se peut dans une thèse d'informatique, nous exposerons les postulats sur lesquels repose la SAO et ce qui justifie de formaliser précisément cette théorie².

Le 3^{ème} chapitre expose notre formalisation de la réponse que propose la SAO à la question « qu'est-ce qu'une organisation ? ». Cette formalisation se présente sous la forme d'un *méta-modèle*³ des organisations, le modèle d'une organisation particulière étant une instance de ce méta-modèle. Ce méta-modèle est d'abord présenté sous la forme d'un diagramme de classe UML, puis sous la forme d'une structure mathématique, et nous discutons ensuite ses relations, qui sont complexes, avec le corpus de la SAO. D'une part ce méta-modèle ne prétend pas épuiser toutes les richesses et subtilités de cette théorie, on peut donc considérer qu'il ne porte que sur un fragment, aussi étendu que possible, de ce qui est formalisable dans la SAO ; en même temps, la construction du modèle d'organisations qui sont des cas d'école du corpus de la SAO nous a conduit à déborder le cadre de la SAO, du moins à préciser et à accorder une importance de premier rang à des éléments qui ne sont que vaguement évoqués, voire implicites, dans le corpus

2 Nombre de sociologues dénie le statut de théorie à la SAO, mais ce débat est hors de propos dans ce document.

3 Ce méta-modèle pourrait tout aussi bien être qualifié d'ontologie de la structure des organisations.

de la SAO. D'autre part, il est essentiel de pouvoir interpréter les résultats obtenus sur le modèle d'une organisation particulière dans les termes de la SAO, la SAO constituant ainsi une forme de domaine d'interprétation sémantique du formalisme que constitue ce méta-modèle. Nous traitons ensuite un exemple très simple d'organisation, le cas Trouville, pour illustrer les définitions.

Ce méta-modèle des organisations est à plus proprement parler un méta-modèle de la *structure des organisations*. Etant entendu que le social est d'abord de nature processuel (cf. le chapitre 5), ce que nous appelons la « structure » d'une organisation est le contexte dans lequel ces processus se développent. Pour résumer, la structure d'une organisation est constituée d'*acteurs*, entités actives tout à la fois autonomes et contraintes, qui interagissent par l'intermédiaire de *relations*. Chaque relation est *contrôlée* par un acteur alors que d'autres acteurs en *dépendent* ; chaque acteur contrôle (au moins) une relation et dépend d'autres relations, si bien qu'ils sont en situation de contrôle et de dépendance mutuels les uns vis à vis des autres. Le degré de dépendance d'un acteur vis à vis d'une relation est fonction des *enjeux* qu'il pose sur cette relation, enjeux qui dépendent de ses *objectifs*. Chaque relation est fondée sur une *ressource* que maîtrise l'acteur qui contrôle la relation et dont ont besoin, d'une façon ou d'une autre, ceux qui en dépendent, le terme de ressource étant à prendre au sens le plus général d'entité manipulable telle qu'une information, un objet, une tâche, une décision ou une attitude. Chaque relation est dans un certain *état* qui caractérise le comportement de l'acteur qui la contrôle, et ainsi détermine la façon dont ceux qui en dépendent peuvent l'exploiter pour réaliser leurs objectifs. L'*état d'une organisation* est alors défini comme le vecteur de l'état de chacune des relations ; un tel état caractérise les comportements des acteurs les uns vis à vis des autres (par l'intermédiaire des relations qu'ils contrôlent) et par là il détermine la capacité de chaque acteur à réaliser ses objectifs, ce que nous appellerons sa *satisfaction*, en exploitant les ressources dont il dépend.

Le chapitre IV tire parti de la définition du méta-modèle d'une organisation sous la forme d'une structure mathématique constituée d'ensembles, de fonctions et de paramètres numériques. Sur la base de cette structure, il est possible de définir des expressions mathématiques, que nous appellerons *indicateurs*, dont la valeur peut faire l'objet d'une interprétation dans le domaine de la SAO ; à titre d'exemples, on peut mentionner l'autonomie ou le degré de dépendance d'un acteur, sa centralité, son pouvoir ou sa capacité d'action, la pertinence d'une relation ou sa force. Cette interprétation des indicateurs repose directement sur celle du méta-modèle dans les termes de la SAO que nous avons évoquée ci-dessus, et la signification de chacun d'eux doit être discutée avec prudence. Ceci étant posé, la portée de ces indicateurs est considérable. Ils permettent à l'analyste, celui qui construit le modèle d'une organisation particulière, de confronter la valeur de ces indicateurs avec les idées informelles qu'il se fait (et que les membres de l'organisation se font eux aussi, le plus souvent de façon implicite) à propos de certaines propriétés, et ainsi de valider la conformité de son modèle avec (sa représentation de) l'organisation ; d'une certaine façon, les indicateurs montrent à l'analyste les conséquences de son modèle sur certaines dimensions de l'organisation qui n'y figurent pas explicitement. L'introduction de la mesure permet des comparaisons entre les éléments d'une organisation ou entre organisations différentes, ou d'évaluer l'impact des différents facteurs, là encore au sein d'une organisation ou sous la forme de résultats généraux, des théorèmes, valides pour tout modèle d'organisation. Les éléments que nous exposons dans ce chapitre constituent les prémisses de ce que l'on pourrait appeler une théorie des structures organisationnelles, permettant son *analyse statique* en complément de son analyse dynamique abordée dans le chapitre suivant.

La structure d'une organisation détermine l'espace de ses états, c'est-à-dire, rappelons-le,

l'ensemble des vecteurs correspondant à un état possible pour chacune des relations ; chaque état de l'organisation déterminant la satisfaction de chacun des acteurs, l'espace des états d'une organisation est donc en correspondance avec *l'espace des satisfactions des acteurs*, c'est-à-dire l'ensemble des vecteurs correspondant à la valeur de la satisfaction de chacun des acteurs. Nous commençons dans ce chapitre par montrer que certains de ces états sont remarquables en ce que le vecteur des satisfactions correspondant vérifie une propriété socialement significative telle qu'un optimum de Pareto (aucun autre état de l'organisation permettrait à un acteur d'avoir une satisfaction plus élevée sans que ce soit au détriment d'un autre acteur), un équilibre de Nash (tout changement de comportement de l'un des acteurs (c'est-à-dire toute modification de l'état d'une relation qu'il contrôle) le conduirait à une satisfaction moindre si d'autres acteurs ne modifient pas également leur comportement), ou encore les états pour lesquels l'un des acteurs obtient la valeur maximale, ou minimale, de sa satisfaction. L'exploration de cet espace des états met donc en évidence le jeu des possibles au sein d'une organisation. Un exemple parmi d'autres : si les états qui sont le plus satisfaisants pour un acteur correspondent à ceux qui sont le moins satisfaisants pour un autre acteur et réciproquement, on peut en déduire que ces deux acteurs sont en conflit de façon structurelle, quoi qu'ils fassent l'un et l'autre. Cette investigation de l'espace des satisfactions peut être menée de la même façon sur l'espace des pouvoirs des acteurs. Nous introduisons ensuite et discutons l'interprétation sociologique des indicateurs qualifiés d'*in situ* en ce que leur valeur est une fonction de l'état de l'organisation, puis des indicateurs *ex situ*, ou structurels, qui caractérisent la structure de l'organisation indépendamment de tout état particulier. Toutes ces définitions sont illustrées sur le cas Trouville.

Le chapitre V traite de la dynamique des organisations, comme résultante du comportement des acteurs. Selon la SAO, un acteur social cherche à préserver (défensif) ou à améliorer (agressif) son niveau de pouvoir afin de se préserver une certaine marge d'autonomie dans l'organisation de son activité au sein de l'organisation. Cela nous a conduit à distinguer deux dimensions dans le comportement des acteurs et donc dans la dynamique d'une organisation : d'une part, pour rendre compte de la façon dont toute organisation évolue sous l'effet de facteurs exogènes mais aussi endogènes, une *dimension structurelle* qui consiste pour un acteur, de façon diachronique et irréversible, à transformer la structure même de l'organisation en introduisant ou éliminant des acteurs ou relations, en modifiant des enjeux, etc., et ainsi étendre l'espace des niveaux de pouvoir qui lui sont accessibles ; d'autre part, pour rendre compte du fonctionnement relativement stable⁴ de toute organisation, une *dimension fonctionnelle* selon laquelle chaque acteur adapte son comportement (c'est-à-dire fixe l'état des relations qu'il contrôle) à celui des autres, et ce de façon synchronique et toujours réversible. Dans cette thèse, nous ne traitons que de la dimension fonctionnelle de la dynamique des organisations, la dimension structurelle faisant l'objet d'une autre thèse en cours.

Selon la SAO, le comportement d'un acteur est donc *stratégique*, chacun cherchant à préserver ou à améliorer son niveau de pouvoir par l'intermédiaire des relations qu'il contrôle, et cette stratégie est conduite dans le cadre d'une *rationalité limitée*, du fait de l'opacité des relations sociales et des limites des capacités et de l'investissement cognitif des acteurs. De plus ce comportement est relativement stable, ce qui donne lieu au phénomène de *régulation* : les acteurs se comportent comme s'ils obéissaient à des règles, règles que la rationalité de leur comportement les incite à établir et à respecter. Enfin, ce comportement est globalement *coopératif*, cette coopération étant nécessaire au bon fonctionnement du SAC et chacun ayant intérêt à ce bon fonctionnement, ne serait-ce que parce qu'il est indispensable à la perpétuation

4 Stabilité sans laquelle une organisation ne saurait réaliser, au moins partiellement, ses objectifs, et ainsi justifier sa raison d'être.

du système.

Face à l'infinie inventivité des conduites humaines, il est évidemment hors de question de chercher à rendre compte du comportement concret des acteurs d'une organisation particulière ; on ne pourrait alors, sur le mode narratif, que raconter ce qui s'est passé ou pourrait se passer dans cette organisation, problème que nous avons rencontré dans notre tentative de simuler le système politique territoriale constitué autour de l'établissement de pays dans le sud de l'Aveyron [Mailliard et al., 2003]. Si nous voulons doter les acteurs sociaux d'un comportement générique, nécessairement très abstrait, il ne peut s'agir en fait que d'un méta-comportement, c'est-à-dire un comportement qui leur permet de déterminer, plus précisément caractériser, leur comportement concret, ce comportement étant modélisé par l'état des relations qu'ils contrôlent. La structure d'une organisation étant donnée, et celle-ci étant placée dans un état arbitraire, nous pouvons doter les acteurs d'un modèle de rationalité qui nous permettra de savoir comment elle va se réguler, dans quel(s) état(s) l'organisation peut se stabiliser, c'est-à-dire quel comportement chaque acteur va adopter dans la gestion des relations qu'il contrôle.

Sachant que l'objectif de chaque acteur est d'obtenir un niveau de pouvoir (ou de satisfaction) satisfaisant, une organisation se présente alors sous la forme d'un jeu, d'une forme cependant différente des jeux considérés en économie : chaque acteur étant muni d'une certaine rationalité (on considère ici qu'ils ont tous la même) qui lui permet de manipuler l'état des relations qu'il contrôle, on cherche à ce que le jeu atteigne un état stationnaire : cet état correspond à un comportement des acteurs pour lequel l'organisation est régulée, chacun accepte son niveau de pouvoir et ne conteste pas celui des autres. On souhaite de plus que cet état corresponde à un comportement globalement coopératif de la part des acteurs. Le modèle de rationalité des acteurs sociaux que nous cherchons doit donc, du point de vue fonctionnel, permettre au jeu social de se stabiliser dans un état correspondant à une certaine coopération des acteurs, pour autant que cette coopération soit bénéfique pour l'ensemble de l'organisation⁵ et pas trop coûteuse pour chaque acteur, et du point de vue opérationnel être vraisemblable au niveau cognitif, en exigeant peu de compétences de la part des acteurs, ainsi qu'au niveau social en exigeant peu d'informations sur la structure et l'état de l'organisation conformément à l'opacité des rapports sociaux.

La première section de ce chapitre aborde les problèmes de la validation et la vérification, celles de notre méta-modèle de la structure des organisations et celles d'un modèle du comportement des acteurs sociaux. Nous présentons ensuite notre modèle de la rationalité des acteurs qui est un modèle d'apprentissage par essais-erreurs à base de règles, conforme à une rationalité limitée et procédurale. Une première version de ce modèle ne suppose de la part des acteurs que les compétences très limitées :

- perception de sa satisfaction courante, et comparaison avec celle précédente (plus grande ou plus petite),
- discrimination, éventuellement très grossière, entre les états du jeu tels qu'il les perçoit par les relations dont il dépend,
- connaissance des relations qu'il contrôle.

Nous étudions le comportement de cette version à partir de l'exemple du dilemme du prisonnier en analysant l'impact de la valeur de certains de ses paramètres sur les résultats en

5 La plupart des organisations sociales définissent des jeux à somme positive, dans lesquels la coopération de chacun est nécessaire au bon fonctionnement de l'ensemble, et donc à la perpétuation de l'organisation à laquelle chacun a intérêt.

termes de stabilisation et de coopération. Nous présentons ensuite une seconde version, bien meilleure, qui tient compte de l'équilibre entre les taux d'exploration et d'exploitation au cours de l'apprentissage. Cet algorithme suppose, ce qui est raisonnablement réaliste, que les acteurs sont capables de situer leur satisfaction courante dans l'espace de ce qui leur est accessible en la comparant avec la meilleure et la pire possible ; un acteur va alors plutôt explorer lorsque sa satisfaction est mauvaise et exploiter lorsqu'elle est bonne. Nous étudions le comportement de cet algorithme sur un grand nombre de variantes du dilemme du prisonnier et montrons que ses résultats sont directement liés, en fonction de la structure du jeu, à la difficulté et au bénéfice de la coopération. Il présente la propriété remarquable de ne pas converger pour les jeux à somme nulle : les acteurs sont incapables de stabiliser leurs comportements lorsque le fonctionnement de l'ensemble de l'organisation est indifférent à leur coopération ! L'application de cet algorithme au cas Trouville permet d'obtenir les résultats auxquels on s'attend : s'écartant d'une interprétation restrictive de leurs rôles respectifs, la coopération du Directeur et de la Secrétaire leur permet de trouver un compromis satisfaisant pour chacun d'eux ((à compléter, la simulation du cas Trouville a été oubliée dans la présente version du document)). En l'absence d'un module d'analyse de sensibilité dont SocLab ne dispose pas encore, il est difficile d'optimiser cet algorithme et de déterminer les meilleurs valeurs des paramètres en fonction des caractéristiques de la structure du jeu ; cet algorithme semble présenter de très bonnes propriétés, mais son étude systématique n'est pas terminée.

Le chapitre VI est consacré à l'analyse d'un cas d'étude classique en sociologie des organisations portant sur les conflits au sein d'une petite entreprise à propos de l'acquisition d'un nouvel outillage [Bernoux 85]. Après une présentation de l'organisation, nous abordons la construction de son modèle et étudions les résultats de l'analyse statique et les résultats de simulations. L'indispensable guide méthodologique pour la mise en œuvre de notre formalisation de la SAO pour l'analyse sociologique d'organisations n'entre pas dans le champ de cette thèse : cela concerne les sociologues et une telle méthodologie est d'ailleurs en cours d'élaboration à l'occasion d'un projet concernant l'utilisation de l'eau dans un bassin versant comportant des analyses hydrologique, agronomique, économique et sociologique [Vautier et Roggéro 08, Roggéro et Vautier 08]. Pour autant, nous nous efforçons dans ce chapitre de mettre en évidence les questions soulevées par l'élaboration du modèle d'une organisation, et l'importance d'y apporter des réponses aussi claires que possible. Par exemple, le domaine de l'état des relations étant défini comme un intervalle numérique, il est indispensable de préciser, pour chaque relation, à quel comportement correspond chacune des plages de valeurs de son état. Nous montrons aussi comment l'analyse statique et les résultats de simulations peuvent être utilisés pour confirmer ou infirmer les hypothèses d'analyse sur lesquelles repose le modèle de l'organisation. Notamment, nous présentons deux modèles de l'entreprise étudiée, selon la théorie X et la théorie Y de Mac Gregor, et parvenons à la conclusion que la théorie Y n'est pas pertinente pour analyser ce cas.

Enfin, le chapitre VII est consacré à SocLab, l'environnement que nous avons développé en java pour permettre d'éditer et documenter des modèles d'organisations, de calculer ses états remarquables et la valeur des indicateurs in situ et ex situ, d'effectuer des simulations et enfin de produire différents outils de présentations de ces résultats (tableaux, réseaux, courbes, statistiques, ...) afin de faciliter leur interprétation (on en trouvera quelques exemples dans ce documents).

Le chapitre VIII est consacré à la conclusion et aux ouvertures possibles des travaux présentés dans ce mémoire.

Chapitre II - La sociologie de l'action organisée

1 Introduction

Nous proposons de présenter la théorie de la sociologie de l'action organisée, dans la perspective qu'elle puisse être comprise par un informaticien n'ayant pas de connaissances particulières en sociologie, si ce n'est l'expérience qu'il vit à chaque instant en tant qu'individu social.

Formaliser une théorie sociologique c'est avant tout la comprendre. C'est-à-dire connaître ses objets d'étude, son histoire, ses *a priori* et les points de vue que d'autres courants ont développés sur les mêmes objets. C'est ensuite comprendre le langage utilisé pour décrire ces objets. Le regard du sociologue sur un fait social - un mariage, une association, une entreprise, une institution... - s'exprime en des termes aussi éloignés du sens commun que ceux nécessaires à exprimer le regard de l'informaticien sur un ordinateur, un réseau, un langage formel, un compilateur, un programme. Finalement, c'est comprendre ses enjeux, ses hypothèses et ses postulats.

2 Les théories des organisations⁶

L'étude des organisations sociales est un domaine de recherche qui n'est pas l'apanage de la sociologie, puisqu'elle implique également l'économie, la gestion, la psychosociologie, les sciences cognitives, voire la science politique. Mais que se cache-t-il derrière ce terme d'organisation ? Quelles sont les caractéristiques communes à une association, une entreprise, un hôpital, une administration publique, une prison, une école ? On peut distinguer trois facettes :

- un regroupement d'humains menant une action collective, ou un projet, orienté vers un objectif plus ou moins bien défini,
- la façon dont ses membres coordonnent leur activités,
- et enfin la façon d'ordonner cette structure.

L'organisation est ainsi tour à tour et à la fois : structure, processus de coordination et processus de régulation. La sociologie des organisations n'est pas en soi une théorie mais un domaine qui s'intéresse à ces objets, qui comporte plusieurs théories sur le sujet. La sociologie de l'action organisée est l'une d'elles, récente, dont nous pensons que les particularités seront mieux comprises en les situant par rapport aux autres approches traitant du phénomène organisationnel. Dans cette section, nous présentons différents courants de pensées qui ont permis de développer et constituer la théorie des organisations afin de contextualiser la SAO. Cette présentation se veut très succincte. Toutefois, nous nous attarderons sur Max Weber car toutes les « approches (organisationnelles) trouvent leurs racines dans l'œuvre de Weber » [Crozier, 2005].

2.1 L'école classique : les approches mécanistes de l'organisation

Développées à la fin du XIX^{ème} siècle, en pleine période de développement industriel et de développement des sciences, ces approches sont marquées par le processus de rationalisation qui s'empare de la société, des industries et des états. Trois auteurs vont se démarquer par leur travaux et la trace qu'ils laisseront dans l'histoire.

Juriste, historien, économiste et sociologue, **Max Weber** (1864-1920) est considéré

6 Sur la plupart des auteurs de cette partie, nous ne prétendons pas disposer de profondes connaissances, tout au plus de celles d'un cours de licence ou de maîtrise. La majorité des références, exceptés quelques chapitres et articles, sont issues de [Ségrestin, 1994], [Crozier & Friedberg, 1977], [Friedberg, 1993], [Bernoux, 1985], [Cherkaoui et al., 2005], [Terssac, 2003], [Durand & Weil, 2006].

comme l'un des pères fondateurs de la sociologie moderne. Il est également à l'origine de la *sociologie compréhensive* qu'il intègre à la démarche *explicative* que prône, entre autres, la sociologie d'Emile Durkheim. En effet, si la démarche explicative est adéquate pour les sciences physiques et les sciences de la nature, elle trouve ses limites dans les sciences économiques et sociales : en tout état de cause, les phénomènes sociaux ne peuvent être reproduits, ils sont singuliers et historiquement situés. Ainsi le déterminisme qui prévaut en physique, fondé sur la causalité et repéré par les statistiques, ne peut suffire à l'étude des phénomènes sociaux. Weber propose alors d'introduire la subjectivité dans la démarche d'analyse. Tout d'abord la subjectivité des acteurs du phénomène considéré, puisqu'il met l'accent sur l'étude des motivations plus ou moins conscientes des acteurs pour participer à l'action collective ; il se positionne ainsi dans une posture d'*individualisme méthodologique*, selon laquelle l'étude de l'acteur est requise pour l'analyse du fait social. Ensuite la subjectivité du chercheur, car il propose de comprendre les phénomènes et les relations sociales par la construction des *idéaux-types* par lesquels ils peuvent comparer les objets sociaux concrets.

Un idéal type est une (re)construction de la réalité où seuls les éléments saillants d'un phénomène social sont retenus. Un ou plusieurs phénomènes sociaux servent de sources à la construction d'un idéal type. Le sociologue peut alors rendre compte des singularités de phénomènes particuliers par comparaison à ces idéaux types. C'est par cette approche que Weber propose d'étudier les organisations sociales modernes⁷, à travers notamment l'idéal type de la bureaucratie.

L'idéal type de la *bureaucratie* est construit sur la base de l'idéal type de la relation de domination. Weber part du postulat que les relations sociales sont asymétriques, que certains individus ou groupes en dominent d'autres. Celui qui domine l'autre est celui qui dispose de la capacité à se faire obéir par autrui. Il définit alors trois formes de domination basées sur l'origine de l'autorité du pouvoir de celui qui domine et celle de la légitimité que le dominé reconnaît à cette autorité. La première forme de domination se base sur la *légitimité charismatique* d'un individu aux caractéristiques extraordinaires : valeur, vertu, héroïsme, caractère sacré. Ainsi en est-il par exemple des prophètes ou des grands guerriers. La seconde forme de domination repose sur la *légitimité traditionnelle* de l'autorité, comme c'est le cas par exemple des lignées de rois. Pour ces deux formes, l'entretien et la diffusion de cette légitimité dans la société passe par des processus de *routinisation* qui assurent l'*institutionnalisation* de l'autorité. La période pendant laquelle la légitimité traditionnelle persiste est à l'échelle de la vie du dirigeant car la routinisation s'appuie sur la croyance en des traditions immuables ; alors que pour la légitimité traditionnelle, elle est en général plus courte, à la hauteur de la fascination produite par les caractères exceptionnels du chef. La troisième et dernière forme de domination est la *légitimité rationnelle-légale*. Elle se fonde sur la croyance en la légalité des règles et dans le droit des dominants à établir des directives. Le chef ou le groupe dominant est défini et exerce son pouvoir en vertu de la loi établie. Là où l'autorité était exercée selon le bon vouloir du chef pour la domination traditionnelle ou la domination charismatique, elle est soumise à l'impersonnalité de la règle dans le cas de la domination rationnelle légale. La routinisation s'appuie désormais sur la science et la rationalité des règles au détriment du magique, du mystique et du religieux dans ce que Weber appelle le « *désenchantement du monde* ».

L'administration publique est pour Weber la forme d'organisation la plus proche de l'idéal type de domination rationnelle-légale. Le modèle de bureaucratie qui en découle possède ainsi les caractéristiques suivantes⁸ :

7 Weber est contemporain de la fin du XIX siècle, en pleine ère d'industrialisation.

8 D'après [Crozier 2005].

- des règles et procédures écrites (un règlement),
- une description formalisée des tâches,
- une définition précise des compétences (évaluées par les diplômes), des droits et des devoirs (contrat, législation) de chacun,
- l'existence d'une hiérarchie d'autorité claire,
- la séparation entre la propriété des moyens de production (actionnaires, Etat) et la gestion de la production (direction, administration)
- la reconnaissance du mérite comme seule voie d'accès aux différentes fonctions de l'organisation.

En parallèle, l'ingénieur et économiste américain **Frédéric Taylor** (1856-1915) développe le Taylorisme [Taylor, 1902-1967], une théorie normative de l'organisation qui s'intéresse à l'optimisation et à la rationalisation des processus de production. Il est ainsi à l'origine de l'Organisation Scientifique du Travail (OST). L'OST repose sur quatre principes d'organisation du travail :

- division horizontale du travail (étude des activités et spécification du travail des ouvriers),
- division verticale du travail (séparation des tâches de conception et de réalisation),
- système du salaire au rendement,
- système de contrôle du travail.

Le modèle Taylorien a permis d'améliorer le rendement et la rétribution des ouvriers, ainsi que leur aliénation.

L'ingénieur français **Henri Fayol** (1841-1925), comme Taylor, a fortement influencé le développement des sciences de gestion [Fayol, 1916]. Il propose une vision fonctionnaliste de l'organisation où les activités de l'organisation sont classées en six grandes catégories de fonctions :

- production : produire , transformer et fabriquer,
- commerciale : achat,vente et échange,
- financière : rechercher et utiliser de façon optimale les capitaux,
- sécurité : protection des personnes et des biens,
- comptable : calcul de la paie et des statistiques,
- administrative : direction de l'entreprise.

Ce modèle est le précurseur du système d'administration contemporain à quatre éléments : Planifier, Organiser, Décider, Contrôler (PODC).

Pour conclure, les approche mécanistes de l'organisation développent un modèle de l'organisation qui s'appuie essentiellement sur la rationalisation des activités. Les grands traits des organisations mécanistes sont la forte spécialisation des tâches, leur caractère routinier, la formalisation des activités, la planification des activités produite par un corps décisionnel centralisé qui s'appuie sur une hiérarchie bien structurée où l'autorité est légitimée par la fonction. La structure hiérarchique concerne autant la production que la gestion administrative qui assure l'établissement et le contrôle des règles régissant les activités au sein de l'organisation. Ce type de modèle, très hiérarchique, est fortement limité en ce qu'il postule implicitement que

l'environnement est stable.

2.2 Les successeurs

A partir de cette conception rigide et atemporelle qui ne tient compte ni des personnes ni du contexte, de nombreux travaux, principalement aux Etats-Unis et sur la base d'études empiriques cherchant à rendre compte des faits observés, ont cherché à complexifier la notion d'organisation.

Le mouvement des « *relations humaines* » introduit les facteurs psychosociaux dans le comportement des individus qui ne doivent pas être considérés comme de simples rouages mus par leur seul intérêt financier mais réagissent positivement à l'attention dont ils font l'objet, à l'intérêt du travail, à la possibilité de prendre initiatives et responsabilités, à la reconnaissance de leur engagement dans l'organisation. Ces travaux montrent l'importance de la « ressource humaine » et s'intéressent aux relations entre conditions de travail et productivité (E. Mayo), la prise en compte des besoins des salariés (H. Maslow, D. Mac Gregor), la bipolarisation des critères de la satisfaction et la motivation au travail (F. Herzberg) ou l'importance de l'accomplissement personnel des salariés pour l'apprentissage organisationnel face au changement (C. Argyris [Argyris & Schön, 1978]).

Dans la même ligne, l'école du « *management participatif* » met en évidence la plus grande efficacité d'un leadership démocratique par rapport à l'autoritarisme et au laissez-faire (K. Lewin, fondateur de la dynamique de groupe) ou d'un style de direction participatif par rapport au style consultatif ou autoritaire (R. Likert).

Le courant plus techniciste des *contingences* remet en cause le « one best way » des structures organisationnelles sur la base d'études comparatives de différentes entreprises : la configuration d'une organisation doit prendre en compte la complexité et la stabilité de son environnement ([Burns & Stalker, 1966]), le type de la production (petites séries, production de masse ou process continue, J. Woodward [Woodward, 1965]), la stratégie de l'entreprise (A. D. Chandler [Chandler, 1962-1989]), les relations sociales au sein des équipes (E. L. Trist et F. E. Emery), ou encore les déterminants culturels nationaux (G. Hofstede [Hofstede, 1987], P. d'Iribarne [Iribarne, 1989]).

Heny Mintzberg (1978-1986) [Mintzberg, 1982, chap. I] réalise une synthèse de ces différentes approches, qui portent principalement sur les entreprises vue comme des unités de production, en mettant en avant le rôle essentiel de la coordination des actions (cf. figure 1), dont il identifie cinq modalités - 1) la supervision directe, 2) la standardisation du travail, 3) la direction par objectifs ou produits, 4) la complémentarité des compétences ou qualifications, 5) l'ajustement mutuel par communication généralisée - qui chacune donne lieu à une structure d'entreprise bien typée : 1) la structure simple, gouvernée par le sommet, 2) la bureaucratie mécaniste, standardisée par des technocrates, 3) la forme divisionnalisée, relayée par une ligne hiérarchique, 4) le réseau professionnel où règnent les centres opérationnels, 5) l'« adhocratie » permise par de bons logisticiens.

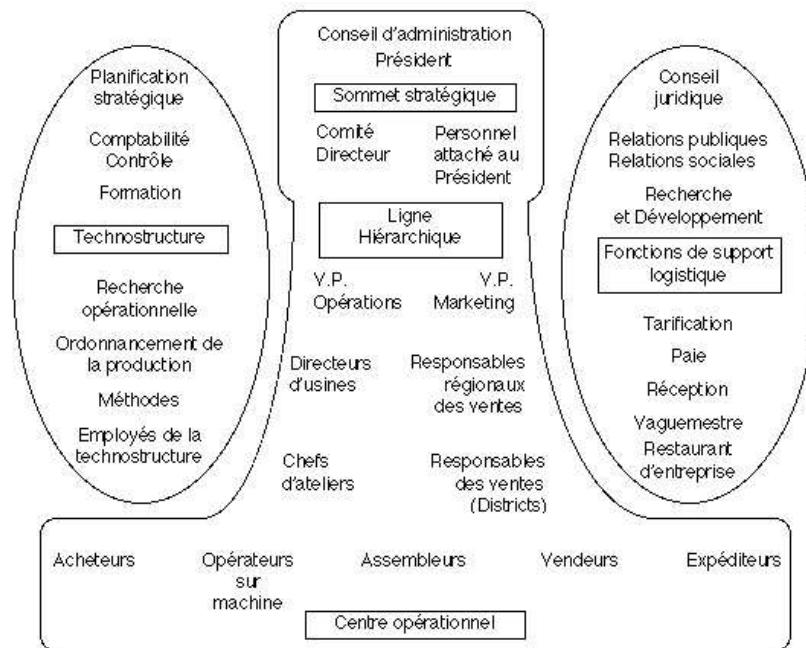


Figure II.1 - La structure d'une organisation selon H. Mintzberg

Les approches *sociologiques* des organisations d'une part élargissent la visée en considérant d'autres types d'organisations que les entreprises, et d'autre part se situent dans le cadre d'une théorie de l'action (T. Parsons, R. K. Merton), considérant l'organisation non comme une entité en-soi mais comme le produit de l'action d'acteurs sociaux pourvus de capacités cognitive, d'objectifs qui leurs sont propres et qui sont sans cesse en train de faire des choix (au lieu d'être essentiellement réactifs, selon l'école des relations humaines). Ils intègrent une vue systémique de l'organisation et adoptent le principe d'une rationalité limitée d'Herbert Simon (les individus ne sont pas omniscients et adoptent la première solution trouvée qui est meilleure que la situation actuelle) et procédurale (une décision est prise non parce qu'elle est la meilleure en termes de résultats attendus, mais parce que la procédure de décision mise en oeuvre est considérée comme la meilleure possible). La sociologie de l'action organisée de M. Crozier et E. Friedberg [Crozier & Friedberg, 1977] relève de cette approche, ainsi que la théorie de la régulation de J. D. Reynaud ([Adam & Raynaud, 1978], [Terresac, 2003]), la conception de l'organisation comme lieu de confrontation de coalitions de R.M. Cyert et G. March [Cyert & March, 1963], ou la théorie des conventions de Luc Boltanski et Laurent Thévenot ([Boltanski & Thévenot, 1991], [Boltanski & Chapello, 1999]) qui voient l'organisation comme un ensemble de processus d'acteurs qui se coordonnent par l'intermédiaire de conventions, représentations partagées des situations qui permettent aux acteurs de prévoir leurs comportements respectifs.

Reste la question essentielle de l'évolution des organisations. L'école des contingences permet de l'aborder en termes d'adaptation aux évolutions de facteurs contingents, et P. Lawrence et J. Lorsch [Lawrence & Lorsch, 1967-1989] ont mis en lumière la double évolution de différenciation (spécialisation pour répondre plus efficacement aux demandes de l'environnement) et d'intégration des unités. Les approches sociologiques permettent aussi de l'aborder par la mise en lumière des conflits et la construction de l'organisation par les acteurs eux-mêmes, mais sans lui accorder une place centrale. Par contre, les thèmes de l'innovation et de « l'entreprise apprenante » font l'objet de nombreux travaux en économie et en gestion.

3 La sociologie de l'action organisée

Depuis les années 1970, l'école française de sociologie des organisations a développé un

programme de recherche dont la fécondité n'est pas discutée. Ce corpus sociologique est l'un des plus enseignés en France tant aux spécialistes qu'aux non spécialistes, notamment les futurs cadres dirigeants. Il s'agit de découvrir le fonctionnement réel d'une organisation au-delà des règles formelles qui le codifient. Les organisations sont des « construits sociaux » actualisés dans et par les relations que les acteurs organisationnels entretiennent entre eux. Ces acteurs sont dotés d'une rationalité limitée et mobilisent leurs ressources pour disposer du pouvoir leur permettant de préserver et/ou d'accroître leur autonomie et leur capacité d'action dans l'organisation. Le pouvoir d'un acteur résulte de la maîtrise d'une ou de plusieurs « zones d'incertitude » c'est-à-dire d'une ressource nécessaire à l'action d'autrui et dont il maîtrise, au moins partiellement, l'accès. Cette maîtrise lui permet de fixer, dans une certaine mesure, « les termes de l'échange » dans la relation avec autrui en rendant son comportement plus ou moins imprévisible. Dès lors, les relations de pouvoir structurent des configurations sociales, relativement stabilisées, qualifiées de « systèmes d'action concrets » (SAC). Un SAC peut être défini comme l'ensemble constitué, dans un contexte organisationnel donné, par les acteurs et leurs alliances, leurs relations et la régulation de ces dernières. Un SAC est donc un contexte d'interaction assez précisément délimité qui structure la coopération d'un ensemble déterminé d'acteurs, de façon certes contraignante mais sans leur ôter toute marge de manœuvre. Si, selon Friedberg, « tout contexte d'action peut être conceptualisé comme sous-tendu par un SAC » (Friedberg 93, p. 156), la finalité d'une recherche s'inscrivant dans ce corpus est bien d'identifier le SAC pour rendre compte (de la régulation) du fonctionnement de l'organisation.

Si, selon Friedberg, la sociologie de l'action organisée peut être appliquée à toutes les formes d'action « organisée », son domaine de prédilection reste les organisations à savoir des ensembles assez fortement codifiés, assez précisément délimités, où les acteurs sont durablement ensemble et où il existe un objectif – celui de l'organisation – partiellement différenciable des objectifs de chaque acteur.

Si cette perspective a donné lieu à de nombreuses applications empiriques de qualité, elle est néanmoins obérée par un usage quasi-exclusif de techniques qualitatives (entretiens semi-directifs, analyse des sources documentaires, éventuellement observation participante et plus rarement enquêtes par questionnaires).

3.1 Naissance d'une sociologie des organisations française

C'est à la suite d'un *heureux hasard* que Michel Crozier obtient en 1947 une bourse « qu'il n'avait pas vraiment demandée », comme il l'explique dans [Durand, 2006], qui le conduit aux Etats-Unis afin d'y étudier le mouvement ouvrier. Il se découvre alors un goût prononcé pour la sociologie, multiplie les entretiens avec les syndicalistes et finit par en écrire un livre, *Usines et syndicats américains* [Crozier, 1951], avant de passer son doctorat d'état. C'est le début d'une réflexion sociologique et d'une méthode de travail qualitative, basée sur de nombreux entretiens, qu'il poursuit au CNRS. Il se lance ainsi dans une réflexion sociologique sur les employés de bureau, et une première étude sur les centres des chèques postaux, *Petits fonctionnaires au travail* [Crozier, 1956]. Il amorce ce travail avec en fond une question scientifique qui remet en cause son idéologie marxisante : pourquoi les employés n'ont-ils pas de consciences de classe ? Il se rend compte, en effet, que les femmes employées par le centre n'ont aucune conscience de classe, leurs problèmes ne mettent pas en cause les chefs mais le système, l'organisation. Il se passionne alors pour cette question de l'organisation⁹ dont il avait déjà été

9 « Michel Crozier : [...] Elles trouvaient que tout cela était idiot... les chefs n'étaient pas mauvais, mais le système n'avait pas de sens... Je les ai suivie et je me suis passionné pour l'organisation. » [Durand 2006].

imprégné par la littérature américaine sur le sujet¹⁰.

En 1959, il repart pour les Etats-Unis, à Palo-Alto, où il découvre notamment Herbert Simon, son travail novateur sur les organisations et surtout la rationalité limitée. Il s'imprègne également des travaux de Peter Blau sur les dysfonctionnements bureaucratiques ou comment, quelque soit les règles qui définissent une organisation, les hommes sont capables de les détourner à leur avantage. Cette année là, Michel Crozier travaille avec vigueur, se passionne pour cette sociologie des organisations où l'acteur a une place centrale. Elle est alors peu présente en Europe et inconnue en France. Il commence son livre, *The bureaucratic Phenomenon*, en anglais puis le poursuit en France, toujours en anglais, en y intégrant les résultats de l'école américaine sur les organisations, le dysfonctionnement organisationnel à la Blau, c'est-à-dire le tropisme des acteurs à contourner la règle, et la rationalité limitée à la Simon. La première partie du livre reprend son étude sur le centre des chèques postaux, ainsi qu'une autre étude sociologique sur les manufactures de tabacs de la SEITA qui contribuera à sa notoriété. La deuxième partie présente une théorisation du phénomène bureaucratique fondée sur les relations de pouvoir, la stratégie des acteurs et le système dans lequel ils évoluent. Cette théorisation deviendra par la suite l'analyse stratégique, comme nous le verrons ci-après. Enfin dans la dernière partie Crozier, procède à un raisonnement abductif qui l'amène à voir dans le phénomène bureaucratique les caractéristiques du modèle Français, à bout de souffle car trop peu flexible pour s'adapter à l'accélération du changement.

3.2 Les fondements de la sociologie de l'action organisée

La *sociologie de l'action organisée*, développée par Michel Crozier en collaboration avec Erhardt Friedberg, est le prolongement de *l'analyse stratégique* due à Crozier. Elle vise à étudier les organisations et leurs mécanismes de régulation. La notion d'organisation qu'ils présentent intègre et dépasse les points de vue des travaux essentiellement américains et anglo-saxon d'alors sur le sujet, notamment ceux de la sociologie des organisations et de la sociologie de l'action collective, portant principalement sur les entreprises. L'organisation est ainsi, et avant tout, un construit social dont la structuration est médiatisée par les relations de pouvoir qui lient et différencient ses membres, les contraignent et leur confèrent en toute circonstance, même la plus pénible, une certaine *marge de manœuvre*, une autonomie relative. L'organisation est aussi pensée réflexivement, dans le sens où elle est également un construit du sociologue.

Postuler le *pouvoir* en tant que capacité d'action – *je le fais car je le peux* - ne suffit pas à rendre compte du fonctionnement organisationnel. Sa nature première n'est pas d'être un attribut de la personne ou de l'acteur, on ne possède pas le pouvoir, celui-ci est de nature avant tout relationnelle, transactionnelle, il s'exerce, évolue, s'actualise, et donc se manifeste dans des échanges, régulés et asymétriques, de comportements. L'asymétrie sous-jacente à toute relation de pouvoir, et la volonté de chaque acteur de rééquilibrer ces relations à son avantage, sont à l'origine des évolutions et transformations du système. Elles donnent lieu à un perpétuel mouvement de lutte pour les *ressources du pouvoir* entre les conservateurs et les rénovateurs de la *règle* - qu'ils la respectent, la contournent ou la modifie. Ainsi, comprendre une organisation c'est comprendre le système de relations de pouvoir, la façon dont il est historiquement structuré par les acteurs et la façon dont leurs comportements entretiennent cette structuration à travers la

10 La présentation facétieuse que Crozier fait de ses débuts dans [Durand 2006] semble quelque peu édulcorée. On ne peut comprendre comment lui vient sa question de recherche autour de l'absence de conscience de classe et de l'organisation : est-elle postérieure ou antérieure à son étude ? Le lecteur intéressé trouvera sûrement des réponses, et pourra (re)découvrir le contexte historique de la guerre froide qui a conduit nombre d'intellectuels français à profiter de financements de la CIA, en lisant [Grémion, 1995].

manipulation stratégique des ressources de l'organisation. D'ailleurs, comme le rappelle Denis Segrestin [Segrestin, 1992], puisqu'on ne peut « plus dissocier les « systèmes » du jeu des acteurs évoluant en leur sein » on préférera parler de *système d'action concret* (SAC) que d'organisation. La dénomination « système d'action concret » rend bien compte du dépassement du traditionnel conflit sociologique entre le holisme Durkeimien faisant la part belle au *fait social* c'est-à-dire à la structure ou au système, et l'individualisme méthodologique Wébérien donnant la prééminence à l'explication par les motivations de l'acteur.

L'individualisme méthodologique (M. Weber, R. Boudon) s'inscrit dans la tradition de la philosophie utilitariste de John Stuart Mill. Celle-ci articule sa réflexion autour du concept de rationalité et a influé sur nombre de courants de pensée dans des domaines de recherche variés, allant de la sociologie à l'économie en passant par l'intelligence artificielle. Le concept de rationalité adopte plusieurs formes au cours de l'histoire, faisant l'objet de conflits théoriques. Pour Friedberg et Crozier, l'acteur social exerce une rationalité stratégique, c'est-à-dire utilitariste, située et limitée. L'utilitarisme s'exprime dans le postulat que l'acteur a des intentions et qu'il use au mieux des moyens en sa possession pour les réaliser. Le caractère situé dénote la singularité de l'acteur comme entité appartenant à un système structuré et structurant. Enfin, le caractère limité de la rationalité fait référence aux travaux de Herbert Simon sur les limites cognitives des individus en termes de calcul et d'accès à l'information, l'acteur n'est pas un décideur omniscient. Dans la plus pure tradition utilitariste, l'acteur a également ce que nous qualifierons un méta-objectif, autour duquel s'articule la mécanique de prise de décision. Il consiste à augmenter et maintenir sa maîtrise sur les ressources qui lui confèrent du pouvoir : les *zones d'incertitude*. Les principales zones d'incertitudes mises en œuvre dans le tissu de relations de pouvoir d'un SAC reposent sur la compétence ou l'expertise, la maîtrise de l'ouverture du système à son environnement, la maîtrise de la communication interne, enfin la connaissance et l'utilisation des normes et règles de l'organisation.

Tout système d'action concret est caractérisé par un certain degré de régulation, forte comme dans une organisation taylorienne ou souple comme dans une université. E. Friedberg propose de décrire le continuum organisationnel suivant quatre dimensions essentielles [Friedberg, 1993] : le degré de formalisation et de codification des règles, la prise de conscience et l'intériorisation par les acteurs des buts, la finalisation de la régulation (l'existence d'un projet), et la délégation explicite de la régulation.

La SAO propose donc une théorie de l'action organisée capable de rendre compte de nombreux processus organisationnels en tenant compte de l'inter-dépendance entre l'acteur et le système à l'aide des concepts de rationalité limitée, de relations de pouvoir, de zones d'incertitude et de système d'action concret. Cette théorie et la grille d'analyse qu'elle propose ont servis à de très nombreuses études, que ce soit pour étudier l'introduction d'une machine-outil dans une entreprise traditionnelle [Crozier, 1963] ou la prise de décision dans la crise des missiles de Cuba [Crozier & Friedberg, 1977]. La principale limite de la SAO, est l'existence d'un contexte relationnel structuré : elle n'est pas adaptée pour rendre compte d'effets spontanés comme les comportements de foules ou les émeutes [Granovetter, 1978], et son terrain d'investigation privilégié est la régulation organisationnelle.

3.3 Les frontières du système et la question de l'environnement

L'environnement est un concept qui fait largement débat dans la communauté des SMA ([Weyns et al., 2005] et [Weyns et al., 2006a]). Parmi les nombreux modèles et méthodologies de conception seuls quelques uns en font une abstraction de premier ordre [Weyns et al., 2006b], notamment Voyelle [Demazeau,], AGRE [Ferber et al., 2005], ainsi que la plupart des

approches componentielles (DESIRE [DESIRE], BRIC [Ferber 1999], ...). En simulation multi-agents le concept apparaît implicitement ou explicitement dans la plupart des travaux. Si l'on avait une définition à donner on retiendrait que *l'environnement est le milieu dans par et avec lequel interagissent les agents*. L'environnement peut être social : on parle en général d'acointances, physique ou topologique : ses propriétés influent sur les attributs et les compétences des agents, écologique : des ressources naturelles, mais également culturel, légal, normatif... Bref, quelle que soit sa nature un environnement reste composé de ressources, au sens d'objets concret ou abstrait éventuellement perceptibles et nécessaires à l'action, et d'agents interagissant entre eux et avec les différentes ressources. Le problème principal dans une perspective de modélisation d'un environnement n'est donc pas sa nature. Il s'agit en fait de ses limites ! Notamment dans le cadre de proposition de méta-modèles organisationnels, la première question que l'on est tenté de poser est : « *Si l'organisation représente l'environnement des acteurs sociaux, comment représente-t-on l'environnement de l'organisation ?* ».

Crozier et Friedberg proposent une démarche intéressante destinée à délimiter l'objet d'étude et qui répond à cette question de l'environnement organisationnel. Leur réflexion les amène à caractériser les frontières d'un système d'action concret comme floues. Ce qui se cache derrière cette notion de frontières floues du système, n'est assurément pas une tentative de prendre en compte l'expansion ou de la contraction du SAC au cours du temps, mais une évolution du point de vue du chercheur non seulement par rapport à son objet d'étude mais également par rapport à sa question de recherche. La question peut alors se poser : « *Quid de l'environnement du système ?* ». Le SAC est avant tout un objet de recherche construit, une abstraction, même si Crozier énonce avec humour que son « système est la réalité » [Durance, 2006], il n'en est que sa représentation, de même que la pipe de Magritte n'est pas une pipe. La construction d'un SAC amène donc à déterminer progressivement ses limites : de nouvelles zones d'incertitudes/ressources sont découvertes au fur et à mesure de l'enquête sociologique, elles amènent à intégrer au SAC de nouveaux acteurs et de nouvelles stratégies. L'évolution du SAC, en tant qu'objet de recherche en construction, conduit à adopter de nouveaux points de vue - on ne reste pas indifférents à la découverte – qui entraîneront de nouvelles interrogations, qui ne seront résolues qu'en déplaçant les frontières du SAC,... Les limites du SAC changent ainsi, se dilatent et se contractent, elles sont déplacées afin de répondre à une questions de recherche sur un phénomène organisationnel. Les éléments du phénomène qui permettent de répondre à cette question sont présents dans le SAC, autant que le sont les éléments de l'environnement du phénomène ayant un facteur explicatif. Dit autrement l'environnement est dans le système. Si le modèle suffit à rendre compte de la question de recherche alors l'environnement du système n'est pas une question pertinente, sinon il convient de mieux délimiter la frontière du système.¹¹

11 Une des limites de cette approche est de faire le postulat implicite que l'environnement peut se représenter dans les mêmes termes que l'organisation. Il existe d'autres voies très intéressante que nous n'adoptons pas dans ce mémoire concernant le couplage de modèle en simulation [Ramat et al., 1999]. Le couplage de modèles est une solution pour représenter un système composite environnement/organisation où la théorie mobilisée pour représentée l'environnement (un environnement physique par exemple) se distingue de celle servant à représenter l'organisation (un organisme vivant par exemple).

4 De l'usage de la connaissance sociologique en simulation sociale

A parcourir les diverses publications et journaux traitant de la simulation sociale, on découvre une grande variété dans l'usage des concepts et théories (sociologiques, économiques, et autres) permettant de produire des modèles. Si les objets d'études de ce domaine sont multiples, on y retrouve toutefois un invariant : la réification nécessaire de ces concepts et théories afin de les utiliser dans un modèle de phénomène social. Par ailleurs, l'utilisation de concepts sociologiques dans le domaine des SMA s'est largement répandue ces 10 dernières années, c'est le cas par exemple de la réputation et la confiance ([Falcone & Conte, 1997], [Castelfranchi & Falcone, 2000]). Pour les SMA, ces nouveaux concepts permettent d'adopter des points de vue fertiles et innovants sur les différents objets étudiés. Les schèmes cognitifs importés dans le domaine des SMA permettent aux chercheurs de développer un mode de raisonnement analogique propice à la production d'innovations. A titre d'exemple nous citerons les travaux de [Sichman, 1994] qui, s'inspirant de travaux sociologiques sur la théorie de la dépendance, a proposé un processus de coordination pour former des coalitions dans des systèmes multi-agents ouverts. Le lecteur intéressé pourra également se référer à [Malone, 1995] qui retrace, entre autre, l'apparition et la diffusion de différentes innovations concernant les processus de coordination dans les domaines de l'IAD et de la théorie des organisations.

L'utilisation de concepts sociologiques par les SMA n'a pas la même incidence suivant que l'on se situe dans une perspective de résolution de problèmes ou de simulation sociale. Dans le cadre de la résolution de problèmes, la finalité du SMA peut se résumer dans la plupart des cas à résoudre un problème ou à satisfaire la réalisation d'une tâche donnée, de façon distribuée et coopérative. Dans une perspective de simulation sociale, l'objectif principal des SMA est de permettre la compréhension, et l'explication d'un phénomène social en représentant les interactions et les processus de coordination que des agents et dont émerge le phénomène. Dans les deux cas, l'utilisation de concepts sociologiques permet au chercheur d'analyser le phénomène ou le problème qu'il cherche à modéliser. Pour la résolution de problème, cette démarche facilite l'abstraction de l'objet. Dans une perspective de simulation sociale, suivant les concepts sociologiques qui seront mobilisés, le modélisateur adoptera un point de vue spécifique sur son objet. Celui-ci n'est pas anodin car en changeant la perspective sur son objet, le chercheur en change l'analyse. Le phénomène social est expliqué à l'aune d'une nouvelle théorie correspondant au point de vue adopté. La simulation sociale produit ou prolonge ainsi des théories sociales [Gilbert & Troiszcht, 1999] sur un objet ou un phénomène qui a déjà pu mobiliser plusieurs autres théories. Par exemple, la régulation d'un marché peut s'analyser comme l'adaptation de l'offre et de la demande [Walras, 1983] ou par l'adoption de comportements mimétiques de la part des courtiers [Orléan, 1984] ; la mobilité sociale peut s'expliquer par les déterminismes qu'imposent les *habitus* des agents issues de différentes classes sociales dans le champ scolaire ([Bourdieu & Passeron, 1964], [Passeron & Bourdieu, 1970]) ou par les choix rationnels que prennent ses agents en fonction de leurs motivations [Boudon, 1973].

On trouve essentiellement trois approches (Tableau 1) dans l'utilisation des connaissances sociologiques en simulation sociale : la validation de théorie, l'assemblage heuristique de concepts et d'hypothèses, la modélisation participative.

Dans la première approche une partie des hypothèses d'une théorie est reprise pour produire un modèle d'un cas paradigmatique de la théorie. L'objectif est de valider, vérifier la cohérence et éventuellement d'approfondir la problématique de cette théorie. La simulation sociale est ici employée pour consolider, corriger ou infirmer la théorie mobilisée. Ginalucca

Manzo propose ainsi un modèle de mobilité sociale reprenant les travaux et hypothèses de Raymond Boudon sur le sujet [Manzo, 2005] .

Afin d'élaborer des modèles, la seconde approche utilise de façon opportuniste des éléments théoriques en fonction de l'objet d'étude. Cette approche très empirique a le défaut de son caractère potentiellement novateur en ce qu'elle ne réutilise pas des théories mais des éléments hors contexte pour s'emparer de son objet. Faute d'un contrôle rigoureux de cette utilisation, les connaissances produites risquent alors de s'avérer soit « folkloriques », soit peu réutilisables en regard du nombre de travaux similaires sur des objets de nature semblable. Ces approches n'ont pas de fondement épistémologique, ce qui implique que le domaine de validité des résultats reste indéterminé.

La troisième approche, encore plus empirique, consiste à mobiliser les connaissances des acteurs sur un phénomène social. A partir de ce savoir profane, un processus d'éllicitation bien cadré permet de produire une connaissance sociologique, sous la forme de modèles. Des séances de modélisations participatives permettent par exemple d'extraire les représentations des différents protagonistes afin de construire un modèle qu'ils valideront par la suite ([Barreteau, 2003], [Bousquet & Trébuils, 2005]. Par exemple, les travaux développés par le CIRAD [Barreteau & al., 2003], s'inscrivent dans un objectif de recherche-action autour de problématiques de gestion de ressources renouvelables. Les modèles produits servent ensuite de cadre de jeu (simulation informatique ou jeu de plateau) afin de faciliter l'échange de points de vue et la production de stratégies de gestion collective.

Approches de simulation sociale	Modélisation participative	Assemblage heuristique	(In)Validation d'une théorie	Formalisation d'une théorie
Source des connaissances sociologiques	+empirique	←-----→ +théorique		

Tableau 1 - Caractérisation des approches de simulation sociales en fonction de l'origine de la connaissance sociologique mise en œuvre dans les modèles.

Dans la façon dont ils traitent des organisations sociales, les SMA et la SAO trouvent peut-être un point commun autour de la définition que propose Edgar Morin [Morin, 1977] de la notion d'organisation : « *l'agencement de relations entre composantes ou individus, qui produit une unité complexe ou système, dotée de qualités inconnues au niveau de ces composantes ou individus...* ». Même si dans un entretien récent, Michel Crozier [Durance, 2006] marque sa différence avec Edgar Morin sur le fait que le système (ou l'organisation) selon Morin est « *une méthode pour analyser la réalité* » alors que pour lui « *le système est la réalité* », c'est pourtant sur cette base systémique partagée que nous proposons de décrire un méta-modèle des organisations sociales au chapitre suivant (*chapitre III*). Nous proposons ainsi une nouvelle approche de l'usage des concepts sociologiques en simulation sociale , la formalisation d'une théorie, en l'occurrence la sociologie de l'action organisée.

Par cette démarche nous pensons offrir aux SMA l'apport d'une nouvelle perspective sur l'organisation sociale en espérant qu'elle permettra de compléter la réflexion déjà bien amorcée à travers nombres de méta-modèle organisationnel déjà produits : AGR [Gutknecht et al. 2001], AGRE [Ferber et al., 2005], MOCA [Amiguet et al., 2002], DEPNET [Conte & Sichman, 1995], IODA/JEDI [Kubera et al., 2008], et tant d'autres. La principale originalité du méta-modèle, outre sa démarche de construction nécessairement interdisciplinaire, est de considérer la *relation de pouvoir* comme une entité de premier ordre.

Chapitre III - Méta-modèle des systèmes d'action concret

Un cadre fondé sur la sociologie de l'action organisée pour la modélisation
des organisations sociales

1 La démarche adoptée

Plutôt que de partir de l'assemblage heuristique d'éléments théoriques plus ou moins hétérogènes, nous avons cherché à formaliser les concepts essentiels de la SAO au plus proche de leur sens pour les sociologues afin de minimiser les « distorsions de modélisation » entre le système étudié et son modèle formel. On peut considérer que les connaissances produites peuvent alors se présenter comme une ontologie du domaine. On remarquera, toutefois, des différences notables entre une ontologie et la formalisation d'une théorie, ainsi qu'entre les processus qui permettent de les établir. Tout d'abord, le processus conduisant à la formalisation d'une théorie implique des échanges interdisciplinaires qui peuvent remettre en question les connaissances du domaine : le modèle formel peut conduire à mettre en question la théorie et à la modifier. Ce n'en est pas une simple transposition, le modèle a un effet potentiel sur la théorie dans la mesure de la critique qu'il peut soulever lors de sa construction. Une autre différence est que l'on ne cherche pas à produire un dictionnaire couvrant l'ensemble du domaine, mais à produire un langage minimum dont les termes permettent de décrire la structure et la dynamique des objets du domaine. Enfin les connaissances ainsi produites, dans notre cas sur la SAO, permettent d'instancier différents modèles d'organisations sociales concrètes. C'est pourquoi nous avons choisi de parler de méta-modèle d'organisations sociales plutôt que d'ontologies de la SAO (cf. Figure 1).

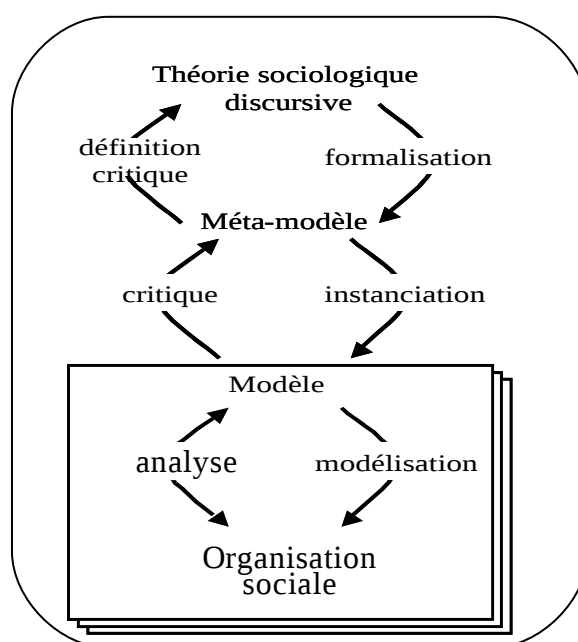


Figure III.1 - La démarche.

Le méta-modèle est envisagé comme une formalisation de cette théorie, et chaque modèle d'une organisation particulière est donc une instance de ce méta-modèle. La relation entre le système concret auquel on s'intéresse et son modèle est des plus classiques en sociologie : elle s'appuie sur des observations qualitatives ou quantitatives de manière à élaborer, critiquer, affiner pour enfin valider le modèle. La relation qui relie modèle et méta-modèle est tout aussi classique dans le domaine du génie logiciel. La définition d'un formalisme s'élabore et se valide à partir de l'accumulation des modèles qui en sont dérivés. A partir des différents cas d'études, correspondant à des contextes organisationnels différents, les modèles réalisés permettent de remettre en cause le méta-modèle et d'affiner par expériences la pertinence de sa définition. Enfin, le méta-modèle permet de critiquer la théorie discursive, non seulement au cours de

l'étape de formalisation qui nécessite de lever les ambiguïtés et de préciser les concepts pour pouvoir les opérationnaliser, et même de faire apparaître de nouveaux concepts, mais aussi, avec le retour d'expérience, au regard des cas d'études. Ces derniers aspects sont plutôt originaux dans le cadre de la simulation social.

Dans ce chapitre nous présentons la formalisation du méta-modèle RAR, qui permet de décrire un système d'action concret à partir des concepts de *Ressources*, d'*Acteurs* et de *Relations* (section 2). Nous proposons ensuite (section 3) un rappel concis de la formalisation ensembliste du modèle. Enfin, nous proposons de mettre en œuvre le méta-modèle RAR par la modélisation d'un cas d'étude issu de la SAO (section 4), que nous avons préalablement introduit en section 2.1.

2 RAR : un méta-modèle des organisations sociales

Le méta-modèle que nous proposons permet de représenter une organisation sociale comme **un ensemble de relations déséquilibrées entre acteurs dont les interactions sont médiatisées par les ressources de l'environnement socio-technique**.

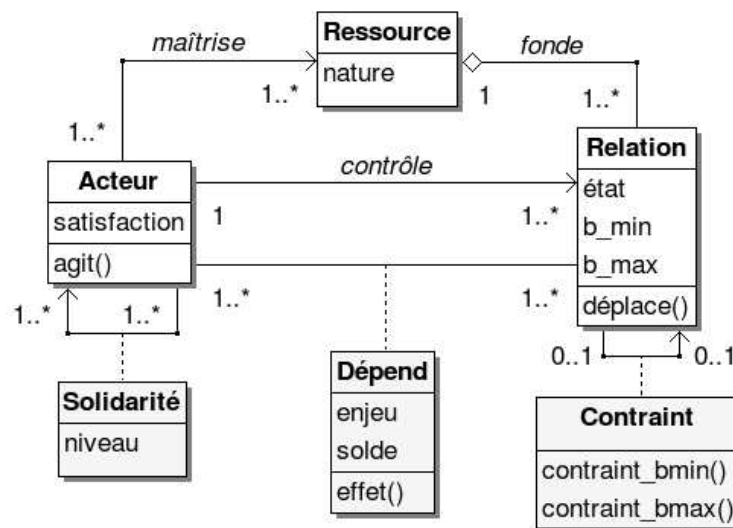


Figure III.2 - Les principaux concepts du méta-modèle RAR sous la forme d'un diagramme de classes UML.

Nous présentons tout d'abord les éléments constitutifs du méta-modèle (Figure III.1) : *Ressource*, *Acteur* et *Relation*, puis nous poserons la question de l'environnement de l'organisation, et montrerons comment l'environnement peut être endogénéisé dans le système modélisé. Dans le reste de ce mémoire nous utiliserons le terme RAR, acronyme constitué des initiales de ces éléments, pour faire référence à ce méta-modèle.

Avant cela nous proposons de présenter un cas d'étude de la SAO, afin que le lecteur puisse disposer d'un exemple concret de système d'action concret.

2.1 L'exemple du cas Trouville

Nous présentons ici un exemple très simple d'organisation sociale, ou de système d'action concret pour reprendre la terminologie de la SAO. L'objectif est de fournir un exemple qui permettra au lecteur de suivre la formalisation des sections 2 et 3. Enfin, nous reviendrons plus en détail sur ce cas, sur sa présentation et sur sa modélisation, en section 4.

La présentation du cas Trouville, tel est son nom, peut se décomposer en quatre phases :

- *Un projet de transformer une organisation dont la réaction des acteurs suscite l'interrogation.* Suite aux bons résultats de l'agence de voyage TRO1, le directeur régional propose au directeur de l'agence de recruter à plein temps la secrétaire au sein de TRO1 sur un emploi ferme, alors qu'elle était jusqu'à présent employée en contrat à durée déterminée, à mi-temps sur TRO1 et sur une autre agence, TRO2, du même opérateur de voyages Travel-Tours. Le problème est que le directeur d'agence et la secrétaire refusent assez curieusement cette offre.
- *La présentation du **contexte** dans lequel évoluent les acteurs.* Il existe un contexte concurrentiel entre les agences de l'opérateur de voyage. Ce qui semble déterminant pour qu'une agence sorte du lot est une forte créativité, alliée à la mise en œuvre efficace des idées produites, et l'accès à un réseaux de clients à qui vendre ces voyages. Or si l'agence TRO1 dispose d'une vendeuse compétente disposant d'un bon réseau, la créativité n'est pas son point fort. L'enquête sociologique révèle que la secrétaire profite de ses passages à l'agence TRO2 dont les membres, selon ses dires, sont très créatifs, pour faire connaître leurs innovations à TRO1. Elle sait que le directeur peut la licencier ou renouveler son contrat. Celui-ci exige d'ailleurs de ses employés un *esprit de groupe*, sans lequel il devrait s'en séparer, une façon élégante d'exposer la menace. Mais la secrétaire n'est pas vraiment préoccupée par un éventuel licenciement car elle sait qu'elle pourra toujours trouver un autre emplois, et de plus, elle est assez libre de son activité à TRO1.
- *Le repérage des **ressources** pertinentes, des **acteurs** qui les mobilisent, et des **relations** auxquelles elles donnent lieu ().* Les ressources pertinentes sont assez simples à déterminer. Il s'agit de l'emploi de la secrétaire que maîtrise le directeur et, bien sûr, de l'information sur TRO2 que maîtrise la secrétaire. A partir de la ressource *emplois de la secrétaire*, le directeur contrôle deux relations dont dépend la secrétaire : les exigences plus ou moins fortes qu'il peut avoir sur le *contenu du travail* de la secrétaire (en l'occurrence elle est assez libre) ; il contrôle également la *stabilité de l'emploi* de la secrétaire puisque c'est lui qui renouvelle ses contrats. De son côté la secrétaire contrôle la *diffusion de l'information* à laquelle elle accède par son travail TRO2.

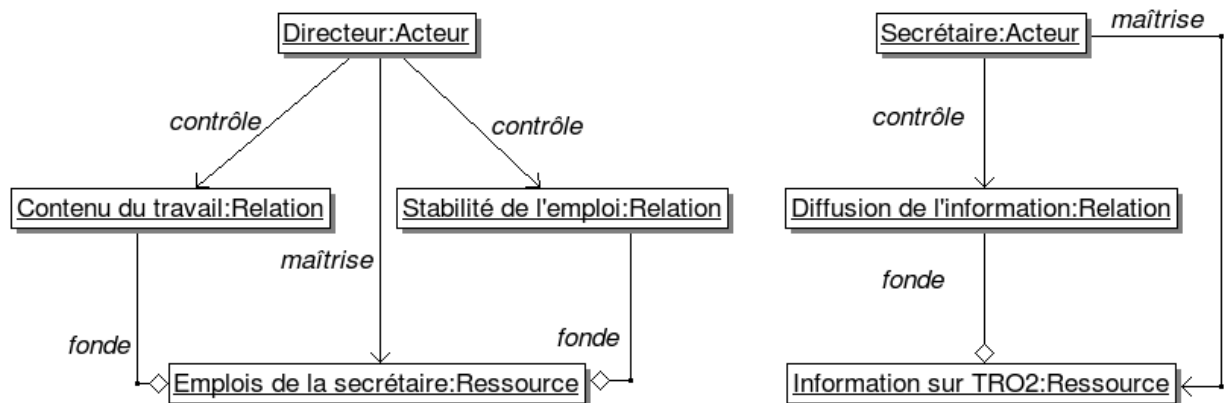


Figure III.3 - Le système d'action concret du cas Trouville
(diagramme d'objets UML)

- *Le **décryptage des transactions** et des rapports entre les acteurs en fonction de leurs **enjeux**, afin de fournir une **réponse à l'interrogation de départ**.* On peut exposer les enjeux des deux acteurs en fonction des relations mises à jour (Figure III.2). L'enjeu du directeur est clairement d'obtenir un maximum d'information (relation *Diffusion de l'information*) de la part de la secrétaire. Celle-ci est essentiellement intéressée par la liberté dont elle dispose (relation *Contenu du travail*) et elle n'est pas vraiment inquiétée par la stabilité de son emploi

(relation *Stabilité de l'emploi*). Dans les faits, chacun adopte un comportement favorable à l'autre sur les relations qu'il contrôle : faible contrôle de l'activité de la secrétaire et renouvellement régulier de son contrat pour le directeur, diffusion de l'information de TRO2 pour la secrétaire. Nous venons de décrire un *système d'action concret* qui exhibe un système de relations de pouvoir caractéristique d'une coopération mutuellement profitable, et dont la structure serait brisée si la ressource *Information sur TRO2* disparaissait. On comprend alors pourquoi chacun des deux acteurs refuse la proposition du directeur régional.

2.2 Les Ressources

Les *Ressources*¹² d'un système d'action concret sont, dans le sens le plus large du terme, les éléments nécessaires à l'action organisée dont la disponibilité est requise pour réaliser une certaine action. Chaque *Acteur maîtrise* ainsi au moins une *Ressource* qui elle-même peut être maîtrisée par plusieurs *Acteurs*. Une *Ressource fonde* une ou plusieurs *Relations* et une *Relation* est fondée par une seule *Ressource*.

Chaque *Ressource* possède une propriété *nature*, dont la valeur est l'un des quatre types de zones d'incertitude identifiées par la sociologie de l'action organisée :

- une compétence difficilement remplaçable,
- la maîtrise de relations avec l'environnement du système,
- la maîtrise de l'information et de la communication interne et, enfin,
- l'utilisation stratégique des règles organisationnelles à l'occasion des marchandages auxquels elles donnent lieu.

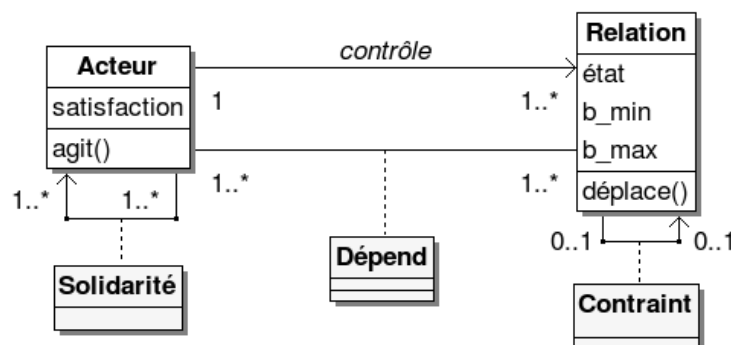


Figure III.4 - Vue simplifiée du méta-modèle RAR

Au niveau du méta-modèle, les *Ressources* sont avant tout des éléments dont le repérage permet de guider l'identification des *Relations* et des *Acteurs*. Elles permettent de fournir et de maintenir le lien sémantique existant entre les données de terrain et le modèle mais elles ne sont pas réifiées au sein de l'implémentation du modèle. En effet, la méthodologie que propose la SAO consiste à repérer les ressources pertinentes d'une organisation afin de trouver les acteurs pertinents et les relations qui les lient. Elles ne sont que des éléments du contexte du modèle d'une organisation et le modèle RAR peut s'exprimer comme uniquement constitué de *Relations* et d'*Acteurs*, un modèle RA (Figure III.3).

¹² Nous adoptons ici le terme « ressource » de préférence à l'expression « zone d'incertitude » de la terminologie de la SAO car il nous semble plus juste : toute zone d'incertitude au sens de la SAO est une ressource, alors que le trait constitutif d'une zone d'incertitude n'est pas tant l'incertitude sur le comportement de celui qui la maîtrise que l'existence d'acteurs qui ont besoin de cette ressource et qui pourtant ne maîtrisent pas les conditions de son utilisation.

2.3 Les Relations

Une *Relation* correspond à un certain type de transactions concernant la *Ressource* sur laquelle elle est *fondée*, et elle est déséquilibrée : un (unique) acteur – l'un de ceux qui maîtrisent la *Ressource* – *contrôle* cette *relation*, tandis que d'autres acteurs – ceux qui ont besoin de cette *Ressource* pour atteindre leurs objectifs – sont contrôlés, dominés, ou encore dépendants de cette *Relation*. En effet, c'est l'*Acteur* qui *contrôle* la *Relation* qui détermine par son comportement dans quelle mesure la *Ressource* est accessible aux autres. Il *contrôle* ainsi la possibilité pour les *Acteurs* dépendants de réaliser leurs objectifs. Dans le détail de la modélisation RAR :

- L'état d'une *Relation* correspond au concept de *termes de l'échange* de la relation, c'est à dire à l'adoption d'un comportement par le contrôleur de la *Relation* qui a des conséquences plus ou moins favorables pour les autres acteurs participant à la *Relation*.
- Une action sur la *Relation* consistent alors à modifier son état, c'est-à-dire modifier son comportement.
- La dépendance d'un *Acteur* vis à vis d'une *Relation* est caractérisée par l'existence d'un *enjeu* que l'*Acteur* fixe sur la *Relation*.
- Tout *Acteur* dépendant d'une *Relation* perçoit un certain *effet* du comportement adopté par le contrôleur en terme d'accès à la ressource dont il a besoin : ce que nous appelons le *solde*.
- Enfin, le comportement des *Acteurs* est *contraint* quant aux *Relations* qu'ils contrôlent : ils disposent d'une *marge de manœuvre* qui peut éventuellement être modifiée en fonction de l'état d'une autre *Relation*.

L'idée qu'une relation de pouvoir est toujours déséquilibrée est centrale dans la sociologie de l'action organisée, il y a toujours un acteur en position de force dans une relation¹³. Mais une relation ne peut être totalement contrôlée par un seul acteur, le dominé a toujours les moyens de négocier, dans une certaine mesure, sa collaboration. Il existe ainsi toujours une réciprocité, même minime, directe où indirecte, dans les dominations ou les dépendances. Si l'on raisonne sur une seule *Relation* cette réciprocité ne peut bien évidemment pas apparaître, et il nous faut alors considérer une relation de pouvoir comme étant constituée d'un ensemble de *Relations*.

Les *Relations* représentent les briques structurelles des relations de pouvoir. Une relation de pouvoir entre deux acteurs peut alors être structurellement caractérisée par l'ensemble des *Relations* que l'un contrôle et dont l'autre dépend. Ainsi au sein du SAC de la Figure III.4 les acteur A et B se dominant mutuellement, chacun contrôlant une *Relation* : la 1 pour A, et sur la 3 pour B. La relation de pouvoir unissant A et B est constituée des *Relations* 1 et 3. Il est également possible de penser que A dominant C par la *Relation* 1, et C dominant B par la *Relation* 2, ces deux *Relations* sont alors également caractéristique de la relation de pouvoir entre A et B. Mais à poursuivre le raisonnement de la sorte, le risque est au final de caractériser la relation de pouvoir à l'aide de l'ensemble des *Relations* d'un SAC. Aussi, nous étudierons au chapitre suivant (*Chapitre IV*) différentes façons de relier les *Relations* du SAC au pouvoir d'un acteur sur un autre ou en regard du système.

En regard de la SAO la *Relation* est à prendre comme une catégorie analytique opérationnelle permettant de penser la relation de pouvoir hors du cadre dyadique dans laquelle l'avait enfermé les définitions classiques de la SAO (voir Chapitre IV section 2.2) : en terme sociologique il s'agit donc d'une **relation de pouvoir élémentaire**.

13 Erhard Friedberg, *op. cit.*, p. 113

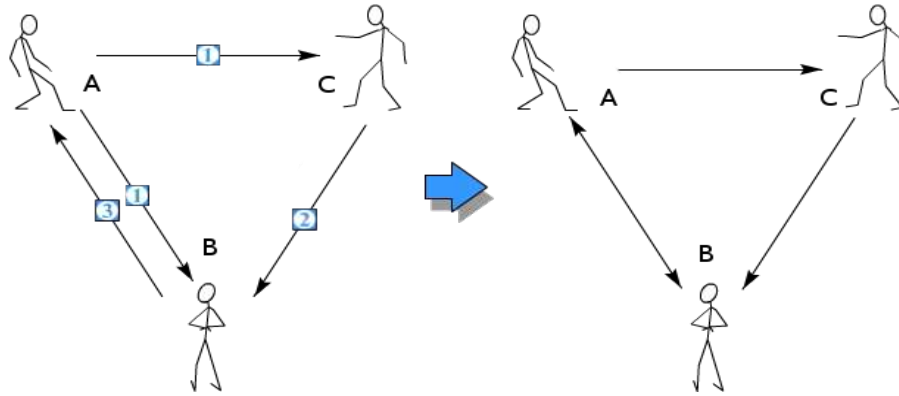


Figure III.5 - (A droite) Inférence de relations de pouvoir (directes) \neq l'aide de **Relations de pouvoir élémentaires** (\neq gauche). Les relations indirectes ne sont pas prises en compte.

Dans la suite de ce mémoire nous pourrons user indifféremment des termes de transaction et de relation. Une transaction se distingue toutefois d'une relation en ce que ce terme désigne plutôt les aspects dynamiques et événementiels d'un processus d'échange entre deux acteurs alors que le second s'intéresse plus aux qualités de ce processus.

2.3.1 Etat d'une Relation et état du système

Un SAC est constitué de *Relations* entre deux ou plusieurs acteurs. Soit R l'ensemble des *Relations* du SAC. L'état e_r d'une *Relation* $r \in R$ est un réel défini dans l'espace d'état $E_r = [-1; 1]$. L'état de chaque relation est modifiable par un et un seul acteur, le *contrôleur* de cette relation. L'état e_r d'une *Relation* r représente le comportement que le contrôleur de la *Relation* adopte pour celle-ci, et l'espace d'état E_r représente l'*espace de choix* théorique pour le contrôleur. Si l'interprétation de l'état d'une *Relation* est à définir en terme de comportement de l'*Acteur* qui la contrôle, les extrémités -1 et $+1$ de l'espace des choix correspondent aux limites techniques, de faisabilité ou physiques tenant à la nature de la *relation*, l'origine de ces *contraintes* étant soit institutionnelle de par les règles formelles internes ou imposées à l'organisation (par exemple la nature des contrats de travail légaux), soit normative tenant à l'acceptabilité sociale en fonction des normes en vigueur.

Il nous reste à donner l'interprétation des propriétés b_{min} et b_{max} des *Relations*, qui décrivent les contraintes auxquelles est soumis l'*Acteur* qui contrôle une *Relation*. Bien que cette notion ne soit pas explicitement pensée mais juste citée dans le corpus théorique de la sociologie de l'action organisée, elle nous semble indispensable à la modélisation du fonctionnement d'un système d'action concret. En effet, l'*Acteur* qui contrôle une *relation* ne peut pas pour autant adopter n'importe quel comportement, en attribuant n'importe quelles valeurs aux *soldes* des *Acteurs* dépendant de cette *Relation*. Il doit respecter « les règles du jeu social » qui déterminent, pour partie, l'espace des valeurs qu'il peut donner aux *soldes* des *Acteurs* dépendant de la *relation*. Pour chaque *Relation* r , ces deux valeurs, b_{min_r} et b_{max_r} , permettent alors de restreindre les états qui lui sont accessibles dans l'*espace de choix* théorique $[-1, 1]$. L'intervalle $[b_{min_r}; b_{max_r}]$ définit ainsi sa *marge de manœuvre* sur la *Relation*. Soit C_r la *marge de manœuvre* du contrôleur d'une *Relation* r $C_r = [b_{min_r}; b_{max_r}]$, avec $b_{min_r} \in E_r$, $b_{max_r} \in E_r$ et $b_{min_r} \leq b_{max_r}$. La *marge de manœuvre* C_r est ainsi le

domaine de valeur effectif de l'état d'une *Relation* r : $\forall e_r, e_r \in C_r$.

On distinguera donc l'ensemble des états du système, E_S , de l'ensemble des états du système de *Relations*, E_R :

- Un état e_R du système de *Relations* :
 - est uniquement composé des états e_r de chaque *Relation* r ,
 - est défini par le vecteur d'état, $(e_r)_{r \in R}$,
 - est un élément de $E_R = \prod_{r \in R} E_r$.
- Un état e_S du système :
 - est composé des états e_r et des bornes b_{\min_r} et b_{\max_r} de chaque *Relation* r ,
 - est un définit par le vecteur $(e_r, b_{\min_r}, b_{\max_r})_{r \in R}$,
 - est un élément de $E_S = \prod_{r \in R} E_r^3$.

Ceci se justifie, comme nous le verrons ci-après (section 2.1.3), parce que la marge de manœuvre de l'Acteur contrôleur d'une *Relation* peut évoluer.

2.3.2 Fonctions d'Effet

Chaque *relation* dispose donc d'une marge de manœuvre, à l'intérieur de laquelle l'acteur contrôleur va pouvoir fixer les *termes de l'échange* que nous appelons, par commodité, l'état de la *Relation*. En choisissant une valeur dans cet intervalle, il fixe les « termes de l'échange », et par voie de conséquence le *solde* qu'il accorde à chacun des *Acteurs* pour l'accès à la *Ressource*. Le *solde* d'un *Acteur* vis à vis d'une *Relation* correspond à sa possibilité d'exploiter la ressource correspondante pour atteindre ses buts. La valeur d'un solde est définie dans E_{soldes} , un sous-ensemble de l'espace des capacités d'action, $E_{\text{cap_action}}$, ordonné. E_{soldes} est borné par sup_soldes et inf_soldes , de telle sorte que $\text{inf_soldes} = -\text{sup_soldes}$. Pour simplifier, nous avons choisi de travailler avec un espace unidimensionnel tel que $E_{\text{cap_action}} = \mathbb{R}$ et $E_{\text{soldes}} = [-10; 10]$. Il est possible de complexifier l'espace des capacités d'action en un espace multidimensionnel composé de différentes dimensions de la capacité d'action : cognitive, légale, physique, etc. A partir de l'espace des soldes E_{soldes} , nous pouvons fixer une interprétation aux valeurs des soldes sur une échelle allant donc de -10 à 10 : *pire cas* = -10, *extrêmement mauvais* = -8, ..., *neutre* = 0, *assez bon* = 2, ..., *optimal* = 10. . Pour définir la valeur des soldes selon son état, une *fonction d'effet* est associée à chaque relation r : $\text{Effet}_r : E_r \times A \rightarrow E_{\text{cap_action}}$, où A est l'ensemble des *Acteurs* (voir section 2.4) et $E_{\text{cap_action}}$ est l'espace des *capacités d'action* (voir section 2.4.2). . Le choix (par l'Acteur contrôleur) d'une valeur e_r dans l'espace de choix d'une *Relation* r se traduit par un *solde* égal à $\text{effet}_r(e_r, a)$ pour l'Acteur a vis à vis de r .

Il est évidemment possible d'utiliser tout autre nombre pour borner l'espace de choix. Seule compte ici l'interprétation sociologique que l'on donnera aux différentes valeurs dans l'espace de choix et la forme des fonctions pour chacun des *Acteurs*. Les fonctions d'effet prennent des formes spécifiques pour chaque *Acteur*. Elles définissent la manière dont les *soldes*, pour chaque *Acteur* dépendant d'une *Relation*, évoluent en fonction de l'état de cette *Relation*. La plupart des fonctions d'effet ont une forme linéaire, quadratique ou sigmoïde (Figure III.5).

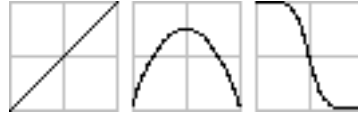


Figure III.6 - Exemple de fonctions d'effet (état de la relation en abscisses, solde de l'acteur en ordonnées).

2.3.3 Contraintes sur la marge de manœuvre

Selon Friedberg, les acteurs ont tendance, que l'on pourrait qualifier de méta-objectif, à essayer d'augmenter ou de maintenir leur maîtrise sur les ressources du système. Selon notre méta-modèle, les modalités offertes aux *Acteurs* pour y parvenir consistent à améliorer ou amoindrir les *soldes* des uns et des autres. Les *Relations* qu'ils *contrôlent* leur permettent d'adopter un comportement dans l'espoir d'obtenir en échange un comportement favorable de la part des autres. En l'état, il s'agit bien d'« un échange asymétrique de comportements » [Friedberg, 1993] qui est en adéquation avec la définition de la relation de pouvoir dans le corpus SAO.

Dans nos premières modélisations nous nous sommes confrontés à la nécessité de permettre aux *Acteurs* une activité affectant la structure du SAC. Les cas récurrents sont la possibilité pour un *Acteur* de neutraliser une *Relation*, de la débloquent ou, plus généralement, de modifier la *marge de manœuvre* d'un acteur sur une *Relation*. A titre d'exemple, un acteur contrôlant la communication d'une information pertinente peut court-circuiter l'activité d'acteurs qui ont besoin de cette information pour contrôler d'autres relations. Ainsi dans le cas SEITA [Crozier, 1965], des ouvriers d'entretiens dissimulent les manuels d'entretiens des machines de production, qu'ils savent réparer, empêchant ainsi le chef de l'atelier d'acquérir leur compétence et d'évaluer leur travail. Dans le cas des inondations du Gard de 1998 [Sturma, 2007], c'est le contenu du rapport du groupement d'experts qui permettra aux mouvements associatifs d'être plus ou moins virulents, selon que le rapport met en cause ou non les élus locaux en charge de la prévention et de la gestion du risque.

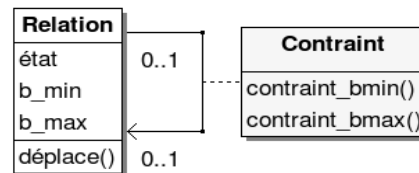


Figure III.7 - Contrainte d'une relation sur la marge de manœuvre (b_{min} , b_{max}) d'une autre relation.

Les ressources du pouvoir, et donc les relations, sont ainsi interdépendantes au sens où la marge de manœuvre d'une relation, c'est-à-dire ses bornes b_{min} et b_{max} , dépend de l'état d'une autre relation. Dans le méta-modèle cela correspond à la *contrainte* exercée par une *relation* (contraignante) r' sur une relation (contrainte) r .

Soit l'opérateur irréflexif $constraint \subset R \times R$. On définit alors $R_{contraintes} = \{r \in R ; \exists r', r' \text{ constraint } r\}$ comme l'ensemble des *relations* dont la marge de manœuvre dépend de l'état d'une autre *relation*. Pour chaque $r \in R_{contraintes}$, on note $r \bullet$ la relation qui la *constraint*, telle que $r \bullet \neq r$ (propriété d'irrégularité). Les bornes de chaque *relation* *contrainte* sont alors déterminées par les fonctions $constraint_bmin_r : E_r \rightarrow E_r$ et $constraint_bmax_r : E_r \rightarrow E_r$.

2.4 Les Acteurs

La sociologie de l'action organisée postule que chaque acteur, quelque soit sa position, a la possibilité d'exercer sa maîtrise sur certaines ressources, fussent-elles mineures. Tout *Acteur* maîtrise donc une ou plusieurs *Ressources* ; c'est reconnaître à tout *Acteur* d'un système d'action concret une certaine marge de manœuvre, celle qu'il exerce sur les *Relations* qu'il contrôle, et par là même dénier le statut d'*Acteur* à toute personne qui ne maîtriserait aucune *Relation*. De façon dialogique, les notions de *Relation* et d'*Acteur* se définissent l'une par rapport à l'autre : une *Relation* n'est telle que dans la mesure où certains acteurs en dépendent pour réaliser leur activité ; est *Acteur* celui qui contrôle une *Relation*.

Il en résulte que, dans la modélisation d'un système d'action concret, la correspondance entre acteur et personne physique n'a rien d'automatique. Si un individu qui ne maîtrise aucune *Relation* n'est pas un *Acteur*, une population homogène peut être agrégée en un *Acteur* unique si chacun de ses membres est dans la même situation de dépendance et de contrôle vis-à-vis de toutes les relations (et ce avec les mêmes enjeux), si bien qu'ils auront des comportements similaires. C'est donc bien l'analyse sociologique qui identifie les acteurs du système d'action concret, à un niveau de granularité qui dépend de la finalité de cette analyse. La seule caractéristique constitutive d'un *Acteur* est d'être en situation de dépendance et de contrôle vis-à-vis de *relations* bien identifiées, et d'être capable d'exercer ce contrôle de façon finalisée.

2.4.1 Actions et transitions d'états du système

L'*Acteur* est une entité active, qui *agit*. Un acteur participe à la régulation de l'organisation en coordonnant son activité avec celle des autres à travers les différentes *Relations* qu'il contrôle.

Pour chaque relation $r \in R$ on définit $Actions_r = [-2; 2]$ l'ensemble des actions applicables sur r par son contrôleur. On pose alors, pour chaque relation $r \in R$ la fonction $déplace_r : E_r \times Actions_r \rightarrow E_r$ de mise à jour de l'état de r par l'application d'une action.

On considère qu'une action sur une relation r consiste à en modifier le « terme de l'échange ». Rappelons que le terme de l'échange d'une relation correspond à l'adoption d'un comportement par le contrôleur de la relation. La nature d'une action consiste à changer ce comportement et non à en fixer un directement. Ceci se justifie sociologiquement par le fait que le changement de comportement dans une organisation n'est en général pas abrupt, d'autant plus si les relations sociales sont bien établies. C'est pourquoi on choisit de représenter l'action comme un déplacement, de telle sorte que l'application d'une action $action_r$ sur une relation r consiste à *déplacer* la valeur de son état e_r : $e_r \leftarrow déplace_r(e_r, action) = e_r + action$.

Le choix du domaine de valeur d'une action fixé à $[-2; 2]$ permet de représenter l'adoption d'un comportement quelconque, puisque tout état d'une relation est alors théoriquement accessible depuis n'importe quel autre état. Afin de faire respecter l'appartenance de e_r à son domaine de valeur, une action a n'est applicable depuis un état e_r que si $e_r + a \in [b_min_r, b_max_r]$.

On définit alors l'ensemble des actions qu'un acteur ego peut effectuer sur le SAC par $Action_{ego} = \prod_{r, ego \text{ contrôle } r} Action_r$. Ainsi, pour qu'un acteur *ego* agisse, il lui faut choisir une action $action \in Action_{ego}$. La portée de son action sur le SAC concerne :

- son comportement au sein des *Relations* qu'il *contrôle* : modification de l'état des *Relations* par l'application de la fonction $déplace()$, et par voie de conséquence les soldes que reçoivent

les acteurs dépendant de cette *Relation*,

- La *marge de manœuvre* de chaque acteur contrôlant une *Relation contrainte* par une *Relation* que *ego contrôle* : modification de la valeur de ses bornes $b_min_{r_alter}$ et $b_max_{r_alter}$ par l'application des fonctions *constraint_bmin()* et *constraint_bmax()*.

Les conséquences de l'action d'un acteur *ego* sur les autres acteurs concernent en premier lieu leur *solde* sur chaque *Relation* dont ils *dépendent* et que *ego contrôle*, puisque celui-ci est directement fixé par l'*effet* de l'état de la *Relation*. *Déplacer* l'état d'une *Relation* affecte ainsi l'accès à la ressource qui la fonde pour tous les acteurs qui en dépendent. Par ailleurs, l'action d'un acteur peut également modifier la marge de manœuvre d'un acteur comme nous venons juste d'évoquer.

On peut alors définir l'ensemble des transitions d'un état du système vers un autre par $T = E_S \times \prod_r Action_r \rightarrow E_S$. Au niveau de l'implémentation, il convient de poser une politique d'ordonnancement de l'activité des acteurs, du choix de leurs actions, de l'application de leurs conséquences sur l'état des relations et sur leurs contraintes, et de la normalisation des états, qui minimisent les biais d'ordonnancement. Le politique adoptée consiste à permettre à chaque acteur de choisir une action à partir de perceptions acquises au même instant (ou état), les conséquences des actions choisies seront appliquées seulement ensuite. La dynamique du systèmes est assez évidente. Il s'agit tout d'abord de prendre en compte les modifications de l'état de chaque relation engendrées par l'action de son contrôleur, puis de mettre à jour les contraintes de chaque relation régulée, et enfin, pour chacune d'elles, de s'assurer de la cohérence entre l'état et les contraintes. Ceci se résume en l'algorithme suivant :

```

pour chaque relation r
  action_r ← agit (controleur(r))
pour chaque relation r
  e_r ← déplace_r(e_r, action_r)
pour chaque relation r régulée par r'
  b_max_r ← affecte_b_max_r(e_r)
  b_min_r ← affecte_b_min_r(e_r)
  e_r ← max( min(e_r, b_max_r), b_min_r)

```

2.4.2 Objectifs et motivations : enjeux et impact

Dans le cadre de la SAO, l'activité d'un acteur est *finalisée*, c'est-à-dire qu'elle peut être expliquée ex-post par un observateur extérieur comme une façon de subordonner son comportement à ses objectifs¹⁴ : on parle alors d'*acteur stratégique*. Considérer un acteur comme stratégique revient donc à lui attribuer un comportement intéressé, c'est-à-dire « motivé par une visée, sans préciser davantage la nature de cette visée ou de ce mobile » [Friedberg, 1993]. Cette « visée », ou objectif, l'amène à mobiliser les moyens dont il dispose pour tenter d'atteindre cette dernière et donc à jouer des *Relations* dans lesquelles il est impliqué. Chacune de ces *Relations* aura plus ou moins de valeur à ses yeux, c'est ce que traduit la notion d'*enjeu* ; et l'état de chacune d'elles sera perçu comme plus ou moins avantageux, dans la mesure de la *capacité d'action* offerte à l'*Acteur* pour atteindre ses objectifs, c'est ce que représente le concept de *solde* (Figure III.7).

Par ailleurs, précisons que les objectifs d'un acteur diffèrent des objectifs de l'organisation « hiérarchique », terme qu'on peut l'utiliser pour désigner ceux de ses dirigeants. L'acteur dispose de ses propres motivations, et ses objectifs ne peuvent être inférés d'un ensemble de rôles

14 En ce sens l'acteur est analysé comme étant rationnel. Nous traiterons de cette problématique dans le chapitre V.

définissant ses fonctions et ses buts au sein de l'organisation formelle¹⁵.

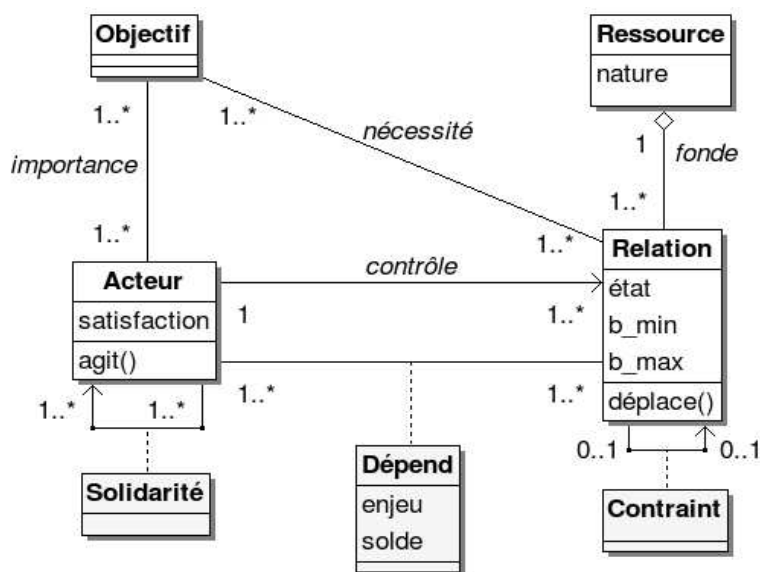


Figure III.8 - Diagramme de classes des Objectifs. Un Acteur accorde plus ou moins d'importance à ses Objectifs. Pour être atteint, chaque Objectif nécessite la mobilisation d'une ou plusieurs Relations. L'enjeu d'un Acteur pour une Relation dont il dépend est fonction : de l'importance que revêt pour lui chacun de ses Objectifs, et de la nécessité relative de chaque Relation pour accomplir chacun de ses Objectifs.

Chaque Acteur répartit son capital d'enjeux sur chacune des Relations dont il dépend. Il opère cette répartition en fonction de l'importance que revêt chaque Relation pour atteindre ses objectifs propres : plus l'usage de la Ressource accessible via la Relation est nécessaire pour atteindre un objectif qui est important pour l'Acteur, plus l'enjeu que l'Acteur place sur cette Relation est élevé.

Cette répartition des enjeux d'un Acteur correspond à l'impact opérationnel de ses objectifs sur son comportement. Pour l'analyse du fonctionnement d'un système d'action concret, ce qui importe ce n'est pas tant la nature des objectifs d'un acteur que ce qu'ils le conduisent à faire. Les enjeux sont le maillon qui, conformément à l'hypothèse de rationalité des acteurs, permet de relier causalement le comportement d'un acteur avec ses objectifs.

Chaque Acteur dispose du même capital d'enjeu qu'il distribue sur les différentes relations. L'enjeu d'un acteur vis-à-vis d'une relation n'a ainsi de sens que relativement à ses enjeux sur les autres relations. Les objectifs d'un acteur sont ainsi caractérisés par la distribution d'enjeux sur les relations dont il dépend. Chaque Acteur dispose de la même quantité de points d'enjeux, ou capital d'enjeu : $capital_{enjeu} \in \mathbb{R}$, que nous fixons arbitrairement à 10.

La définition des enjeux se fait, pour chaque Acteur, à partir d'une échelle qualitative, par exemple nul = 0, négligeable = 1, ..., important = 5, ... vital = 10. Les enjeux seront ensuite normalisés, ce qui implique que les valeurs des enjeux d'un Acteur n'ont de sens qu'en fonction de leur importance relative. Un exemple assez illustratif est de considérer deux acteurs qui renseignent le modèle sur leur enjeux quant à trois Relations. Ceux-ci remplissent un questionnaire à choix multiples, chaque choix correspondant à un des grades de l'échelle d'enjeu.

15 Notre modèle s'écarte ainsi des modèles structuro-fonctionnalistes fondés sur les rôles. On conçoit toutefois qu'il existe une relation entre une partie de ses objectifs propres et ceux des rôles qu'il tient, mais ceux-ci ne sauraient expliquer totalement son comportement.

Le premier acteur coche "nul" pour l'enjeu de la première relation et "important" pour les deux autres, tandis que le second considère que toutes trois sont "importantes". Une fois normalisés, les enjeux importants pour le premier acteur ont une valeur de 5, alors qu'ils ont une valeur de 3,33 pour le second. Le danger est donc non seulement de comparer les valeurs numériques des enjeux du premier acteur à celles du second, mais également d'interpréter les valeurs, qui sont normalisées, selon l'échelle qualitative. Une fois normalisé, il est possible de définir la fonction d'enjeu qui définit l'enjeu de chaque acteur pour chaque relation : $enjeu : A \times R \rightarrow [0; capital_{enjeu}]$, de telle sorte que $\forall a \in A, \sum_{r \in R} enjeu(a, r) = capital_{enjeu}$.

D'autre part on peut techniquement représenter un *Acteur* peu engagé. Il posera alors des enjeux sur une *relation* neutre, d'effet constant, dont il est le seul à dépendre.

Suivant la valeur de l'enjeu d'un acteur pour une relation et la valeur de l'état de la relation, il est alors possible de déterminer l'*impact* que la relation aura sur la capacité de l'acteur à atteindre ses objectifs. *Enjeu* et *solde* peuvent être directement combinés sans tenir compte des *solidarités*, on parlera alors d'*impact ego-centré* :

$$impact_{ego-centré}(r, a, e_r) = effet(r, a, e_r) \cdot enjeu(r, a)$$

mais il est également possible de tenir compte des *solidarités* de l'*Acteur*, et d'ainsi considérer, l'influence de l'état de la relation sur la capacité des autres acteurs à atteindre leurs objectifs, et ce dans la mesure des solidarités entretenues que l'*Acteur* entretient avec eux :

$$impact(r, ego, e_r) = \sum_{alter \in A} enjeu(alter, r) * effet_r(alter, e_r) * solidarité(ego, alter)$$

2.4.3 Une évaluation égo-centrée de la capacité d'atteinte des objectifs : le score

Ce que vise un *Acteur*, c'est de disposer des moyens nécessaires à la réalisation de ses objectifs¹⁶. Une grandeur particulièrement significative pour un *Acteur* est alors l'évaluation globale de sa situation par rapport à ses objectifs : dispose-t-il de la capacité d'action (qu'il estime) nécessaire pour les atteindre ? Ou, dit autrement, a-t-il accès aux ressources qui lui permettrait de les réaliser ?

Afin de mesurer cet écart, entre ce que l'acteur attend et ce dont il dispose dans une situation donnée, on procède, pour chaque *Acteur*, au cumul sur l'ensemble des *relations* dont il dépend d'une combinaison de son *enjeu* avec le *solde* qui lui est attribué. Nous l'appellerons la *satisfaction* d'un *Acteur* (de préférence au terme couramment employé d'*utilité*, en ce qu'il est plus évocateur d'une rationalité limitée). La *satisfaction* reflète la possibilité qu'a un *Acteur* d'accéder aux *ressources* dont il a besoin pour atteindre ses *objectifs*. Pour nous, elle mesure le niveau de réalisation d'une sorte de méta-objectif commun à tous les acteurs sociaux : obtenir les moyens de ses *objectifs*. Il s'agit d'une définition originale qui ne se confond pas avec l'utilité des économistes. Partant du principe que pour un acteur *ego* cette forme d'évaluation ne fait intervenir que ses objectifs propres, nous parlerons alors de *satisfaction ego-centrée*.

On définit la *satisfaction ego-centrée* par la fonction $satisfaction_{ego-centrée} : A \times E_R \rightarrow E_{cap_action}$. Une version très simple et linéaire de cette *satisfaction ego-centrée* est de considérer la somme des *capacités d'action* dont l'*Acteur* dispose sur chaque *Relation*, c'est à dire le *solde*, que l'on pondérera par l'*enjeu* accordé à cette *Relation*. Ainsi la *satisfaction ego-centrée* d'un *Acteur ego* dans un état e_R est donnée par la formule suivante :

¹⁶ La mise en cohérence de fins et des moyens peut également consister à modifier ses objectifs en fonction des ressources mobilisables.

$$satisfaction_{ego-centré}(ego, e_R) = \sum_{r \in R} enjeu(r, ego) \times effet(ego, e_r), \text{ où } e_R = (e_r)_{r \in R}.$$

Etant donnée qu'il s'agit au final d'un décompte de points, d'autant plus élevé que l'Acteur est proche de ses buts, nous pourrions faire référence à la terminologie des jeux et employer le terme de *score* au lieu de celui de *satisfaction ego-centrée*.

2.4.4 Une évaluation socio-centrée de la capacité d'atteinte des objectifs

L'acteur rationnel au sens de l'individualisme méthodologique agit uniquement en fonction de ses objectifs individuels, sa motivation est ego-centrée. Or nous considérons ici une dimension sociale de la motivation qui consiste à prendre en compte le poids des liens de solidarité qui unissent les acteurs d'une organisation. Pour diverses raisons qui lui sont propres, chaque Acteur prend en compte plus ou moins positivement ou négativement, le score de ceux qui comptent pour lui. Chacun tient compte tout ou partie de la situation de certains autres afin d'agir en fonction de ses liens sociaux. Pour se faire on dote chaque Acteur *ego* d'un capital de « *solidarité* » qu'il distribue de façon positive, nulle, ou négative pour chaque Acteur *alter*. Soit $solidarité : A \times A \rightarrow E_{solidarité}$ l'application qui détermine le niveau de *solidarité* d'un Acteur pour un autre. Il s'agit là d'une heuristique convenable, compte tenu de l'aspect limité de la rationalité de chaque acteur, (*je suis satisfait si les membres de ma famille, mes amis réussissent, et si mes ennemis, mes concurrents échouent*).

La distribution des poids positifs ou négatifs sur les liens de solidarités d'un Acteur est toutefois contrainte. On considère que chaque Acteur dispose d'un capital d'attention qu'il peut porter positivement ou négativement à chacun de ses liens sociaux. Ce capital est normalisé pour chaque Acteur de telle sorte que $\sum_{alter \in A} |solidarité(ego, alter)| = capital_{solidarité}$. Par exemple pour $capital_{solidaire} = 1$ on a $E_{solidarité} = [-1; 1]$.

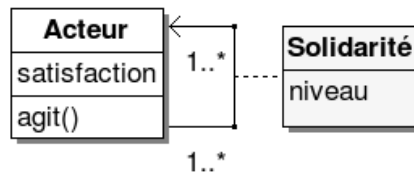


Figure III.9 - Le concept de solidarité dans le méta-modèle RAR.

Pour un Acteur *ego* donné, il devient alors possible de définir une évaluation de sa situation qui tienne compte de la capacité des autres Acteurs à remplir leurs objectifs. Cette évaluation, étant fondée sur les enjeux des autres Acteurs du SAC, nous l'appellerons *satisfaction socio-centrée*, pour la distinguer de la *satisfaction ego-centrée* (ou *score*). Nous verrons au chapitre IV que plusieurs indicateurs peuvent être qualifiés de *ego-centré* ou de *socio-centré*. Par défaut nous abandonnerons le qualificatif de *socio-centré* pour faire référence à un indicateur *socio-centré* dont il existe une alternative *ego-centrée*.

La *satisfaction* est alors définie comme une fonction : $satisfaction : A \times E_R \rightarrow E_{cap_action}$. Une façon simple de formuler la *satisfaction* d'un Acteur *ego* consiste alors en la somme des scores de chaque Acteur *alter* pondéré par la solidarité de *ego* pour *alter*, soit :

$$satisfaction(ego, e_R) = \sum_{alter \in A} score(alter, e_R) * solidarité(ego, alter).$$

2.4.5 Le pouvoir d'un Acteur

Une autre grandeur très significative à considérer est la mesure dans laquelle un Acteur

contribue à la *satisfaction* d'un autre, c'est à dire la quantité de *capacité d'action* qu'il lui prodigue. C'est ce qui nous semble le mieux exprimer la notion de *pouvoir* qui est au cœur de la sociologie de l'action organisée. Nous pouvons alors quantifier le pouvoir qu'un *Acteur ego* exerce sur un *Acteur alter* dans un état $e_R \in E_R$ de la façon suivante :

$$\begin{aligned} & \text{pouvoir situé} : A \times A \times E_R \rightarrow E_{\text{cap_action}}, \text{ tel que} \\ \text{pouvoir situé}(ego, alter, e_R) = & \sum_{r \in R, ego \text{ contrôle } r} \text{impact}(r, alter, e_r). \end{aligned}$$

Nous développons plus en détail cet indicateur du pouvoir (et d'autres) au chapitre IV.

3 La formalisation mathématique du modèle RAR en bref

- R est l'ensemble des *Relations*.
 - o $E_r = [-1; 1]$ est l'espace borné des états de la *Relation* r , muni d'une addition et d'un élément neutre.
 - o $C_r = [b_min_r; b_max_r]$ est l'espace des états accessibles de la *Relation* r , sa marge de manœuvre, caractérisé par ses bornes $-1 \leq b_min_r$ et $b_max_r \leq 1$.
 - o $E_R = \prod_{r \in R} E_r$ est l'ensemble des états du système relationnel.
 - o $E_S = \prod_{r \in R} E_r^3$ est l'ensemble des états de l'organisation.
- A est l'ensemble des *Acteurs*.
 - o $(E_{cap_action}, +, \cdot) = (\mathbb{R}, +, \cdot)$, est l'espace vectoriel ordonné des capacités d'action (on peut ajouter des capacités d'action et les multiplier par des enjeux ou des solidarités).
 - o $E_{soldes} = [-10; 10] \subset E_{cap_action}$ est l'espace des soldes.
 - o $E_{enjeu} = [0; capital_{enjeu}] \subset \mathbb{R}$ est l'ensemble des enjeux avec $capital_{enjeu} = 10$
 - o $E_{solidarité} = [-capital_{solidaire}; capital_{solidaire}] = [-1; 1]$ est l'espace des solidarités.
 - o $Actions_r = [-2; 2]$ est l'ensemble des actions sur la *Relation* r , et une action a est applicable depuis un état e_r si $déplace(e_r, a) \in [b_min_r, b_max_r]$.
 - o $Action_a = \prod_{r, a \text{ contrôle } r} Action_r$ est l'ensemble des actions que peut effectuer l'acteur a .
- **Fonctions sur les Relations**
 - o $constraint \subset R \times R$ est la relation (au sens mathématique !) qui exprime qu'une *Relation* peut modifier la marge de manœuvre d'une autre *Relation* ; on note $\bullet r$ l'ensemble des *Relations* qui contraignent une *Relation* r : $\bullet r = \{r' ; r' \text{ constraint } r\}$
 - o si $r' \text{ constraint } r$, on note $constraint_bmin_{r', r} : E_{r'} \rightarrow E_r$ et $constraint_bmax_{r', r} : E_{r'} \rightarrow E_r$ les fonctions qui fixent les bornes b_min_r et b_max_r de r en fonction de l'état de r' .
 - o $contrôle : R \rightarrow A$ est la fonction qui, pour chaque *Relation*, détermine l'*Acteur* qui la contrôle.
 - o $déplace : E_r \times Actions_r \rightarrow E_r$ est la fonction de mise à jour de l'état d'une *Relation* par l'application d'une action applicable : $déplace(e_r, action) = e_r + action$.
- $T : E_S \times \prod_r Action_r \rightarrow E_S$ est la fonction de transition entre états du système. Si $(a_r)_{r \in R}$ est un vecteur d'actions applicables depuis l'état $(e_r)_{r \in R} \in E_R$, $T((e_r), (a_r))$ est défini de la façon suivante :

$$Si \bullet r \neq \emptyset, b_min_r = \max_{r' \in \bullet r} (constraint_bmin_{r', r}(e_{r'}))$$

$$\text{et } b_max_r = \min_{r' \in \bullet r} (constraint_bmax_{r', r}(e_{r'}))$$

alors $\forall r \in R, e_r = \text{déplace}(e_r, \text{action})$

- **Rétribution des acteurs**

- o $\text{Effet}_r : E_r \times A \rightarrow E_{\text{soldes}}$ est pour, chaque *Relation* r , l'impact de la valeur de son *état* sur la possibilité qu'a un *Acteur* d'y accéder.
- o $\text{enjeu} : A \times R \rightarrow [0; 10]$, tel que $\forall a \in A, \sum_{r \in R} \text{enjeu}(a, r) = 10$, indique l'importance relative qu'un acteur a accorde à une *Relation* r en fonction de ses objectifs.
- o $\text{solidarité} : A \times A \rightarrow [-1; 1]$ détermine la solidarité d'un acteur pour un autre, tel que $\forall \text{ego} \in A, \sum_{\text{alter} \in A} \text{solidarité}(\text{ego}, \text{alter}) = 1$.
- o $\text{satisfaction}_{\text{ego-centrée}} : A \times E_R \rightarrow E_{\text{cap_action}}$ calcule, pour un état donné e_R , la capacité d'un acteur ego à réaliser ses objectifs en fonction de l'état des *Relations* : $\text{satisfaction}_{\text{ego-centrée}}(\text{ego}, e_R) : \sum_{r \in R} \text{enjeu}(r, \text{ego}) * \text{effet}_r(e_r, \text{ego})$.
La *satisfaction ego-centrée* est également appelée *score*.
- o $\text{satisfaction} : A \times E_R \rightarrow E_{\text{cap_action}}$ calcule, pour un état donné e_R , la capacité de ego à réaliser ses objectifs en fonction de l'état des *Relations* et de ses solidarités :
- o $\text{satisfaction}(\text{ego}, e_R) = \sum_{\text{alter} \in A} \text{score}(\text{alter}, e_R) * \text{solidarité}(\text{ego}, \text{alter})$.

Les valeurs des constantes numériques intervenant dans cette définition, à savoir les limites -1 et +1 de l'espace des états, les limites -10 et +10 de l'espace des soldes, des *Relations*, $\text{capital}_{\text{enjeu}}, \text{capital}_{\text{solidaire}}$, sont celles retenues dans l'environnement SocLab que nous présentons au *chapitre VII*. Il convient de noter que ces valeurs sont arbitraires, elles n'ont aucun sens en elles-mêmes, et il en est de même des valeurs produites par l'analyse (cf. *chapitre IV*) et la simulation (cf. *chapitre V*) du modèle d'un SAC. Seules les valeurs relatives de ces grandeurs ont du sens, par exemple le fait que la satisfaction d'un *Acteur* soit 30% plus grande que celle d'un autre.

Par contre, le fait que les espaces de l'état des *Relations* et des soldes soient équilibrés autour d'un élément neutre a du sens ; les états négatifs/positifs sont interprétés comme correspondant à des comportements non coopératifs/coopératifs, et les soldes négatifs/positifs à des effets gênants/facilitants.

Trois autres remarques :

- On pourrait considérer que les espaces E_r des états des *Relations* sont différents pour chaque *Relations* et multidimensionnel. L'espace $E_{\text{cap_action}}$ des capacités d'action peut lui aussi être multidimensionnel, mais il importe qu'il soit commun à tous les acteurs.
- Il est techniquement possible de considérer qu'une *Relation* est contrôlée par plusieurs *Acteurs*, en donnant à chacun une part de ce contrôle, même si ce n'est pas en accord avec la SAO.
- Enfin, la formule du calcul de la satisfaction considère que les soldes reçus par un *Acteur* pour les différentes *Relations* sur lesquelles il place des enjeux sont indépendants ; il s'agit d'un problème d'agrégation des préférences et des propositions ont été faites pour dépasser cette contrainte [Sandri & Sibertin-Blanc, 2008].

4 Une application élémentaire : le cas Trouville

Nous présentons ici un cas très simple de SAC, utilisé par Philippe Smets pour ses cours de SAO. Nous en proposons un modèle très simple, constitué de deux acteurs, qui met en avant leur interdépendance et permet de rendre compte de leurs comportements respectifs. Ce modèle sert d'exemple pour la modélisation à l'aide de RAR, et servira également au *chapitre IV* pour illustrer les indicateurs que nous proposons. Le modèle ne nécessitant pas la modélisation des contraintes entre relations ni des *solidarités* pour rendre compte du cas, il permet de simplifier les calculs, et ainsi d'en effectuer une vérification rapide.

4.1 Présentation du cas Trouville

Travel-Tours est un « tour operator » dont deux agences, TRO1 et TRO2, sont situées dans la même ville, Trouville. Depuis quelques mois les résultats de l'agence TRO1 s'accroissent alors que ceux de TRO2 stagnent voire régressent. Le directeur régional décide de récompenser l'équipe de TRO1 en proposant d'en titulariser le secrétaire jusque là à mi-temps sur les deux agences sur des contrats à durée déterminée. On s'attend à ce que tant le directeur que la secrétaire soient heureux de cette proposition ; or, tous les deux la refusent fermement. Comment expliquer ce double refus ? En identifiant les zones d'incertitude et les ressources associées au sein de TRO1, une analyse en termes de SAO permet de montrer qu'aussi bien le directeur que la secrétaire ont rationnellement raison de s'opposer à cette proposition qui, si elle se concrétisait, induirait pour chacun d'entre eux une perte de pouvoir. En effet, une étude plus attentive du cas révèle que :

l'agence TRO2 est plus inventive que TRO1 en matière de conception de produits touristiques alors que TRO1 dispose d'une équipe commerciale très efficace. Travaillant à mi-temps au sein de TRO2, la secrétaire informe le directeur de TRO1 des projets de TRO2 si bien que TRO1 utilise à plein ces informations avec son équipe commerciale.

- Pour des raisons personnelles, l'obtention d'un emploi stable ne fait pas partie de ses objectifs, à court terme au moins. Par contre, elle apprécie la situation dans laquelle elle se trouve où les directeurs de TRO1 et TRO2 n'ont pas la possibilité d'exercer un contrôle précis sur son travail.

Table 2 - Le cas Travel-tours (repris de [P. Smets]¹⁷)

La société Travel-tours est un tour-opérateur spécialisé dans les voyages pour associations de jeunes. Le siège social, assez réduit, est situé dans la capitale et s'occupe essentiellement des fonctions logistiques (procurer des autocars, etc.) et de la gestion financière. La plus grande part du travail se fait au sein de petites agences disséminées sur l'ensemble du pays. Celles-ci ont la charge de confectionner des packages sur mesure du genre "1 semaine de ski tout compris plus 1 veste offerte par 25 participants pour ..." et de vendre ces packages aux différentes associations intéressées (scouts, cercles étudiants, maison de jeunes, etc.). Les agences ont toute latitude pour le choix des produits et leur prix de vente. Le siège social surveille l'équilibre financier et gère les salaires. Ceux-ci sont composés d'une base fixe et d'une prime fixée par le directeur d'agence. Concrètement celui-ci reçoit chaque mois une somme, fonction des résultats de l'agence, qu'il distribue comme il l'entend à ses collaborateurs. Il arrive que la prime atteigne le même montant que le salaire fixe. Trouville est une commune de moyenne importance en province. On y trouve deux agences Travel-tours TRO1 et TRO2. Ces derniers mois, les résultats de l'agence TRO1 ont bien progressé alors que ceux de TRO2 ont stagné, voire diminué.

¹⁷ Le lien du document n'étant hélas plus accessible sur internet, et l'auteur étant injoignable, nous ne pouvons fournir une référence complète, si ce n'est l'intégralité du présent texte.

L'équipe de l'agence TRO1 est composée de quatre personnes :

Le directeur d'agence, Paul, 35 ans, est chargé de la gestion de l'équipe et est attaché à la qualité de l'ambiance. Il détermine les packages que les commerciaux pourront vendre. Il a surtout un rôle d'animateur d'équipe car la plupart des décisions sont collégiales. Les tâches qui lui sont exclusivement réservées sont celles qui engagent la responsabilité de l'agence. C'est lui qui distribue les primes. C'est aussi lui qui signe les contrats d'intérim pour Agnès (pour rappel, les contrats intérimaires doivent être renouvelés toutes les semaines).

Jean-Pierre, 38 ans, est "commercial senior". Il travaille depuis 7 ans pour Traveltours. Comme pour tous les commerciaux, sa mission est de négocier et de vendre les produits de l'agence auprès des clients potentiels. Il n'a jamais eu le courage de se mettre à l'informatique et ne se sert d'un traitement de texte qu'avec difficulté.

Fabienne, 25 ans, est "commercial junior". Elle a été recrutée, il y a moins d'un an, après avoir fait un graduat. Durant ses études, elle a énormément participé à toutes sortes de mouvements de jeunesse et connaît personnellement la plupart des responsables de ces milieux.

Agnès, la secrétaire, 28 ans, travaille dans l'agence depuis 8 mois. Elle travaille un mi-temps à TRO1 et un mi-temps à TRO2, ce qui l'oblige à se déplacer. Ses contrats d'intérim sont approuvés toutes les semaines par Paul, le directeur de l'agence TRO1. Officiellement, elle doit apporter son soutien à chacun des membres de l'agence dans la réalisation des petites tâches (dactylo, photocopie, carnet de rendez-vous, etc.)

Paul : "Ici, on fait du bon boulot. Les chiffres sont là pour le prouver. Moi, je tiens avant tout à l'esprit d'équipe. C'est l'esprit d'équipe qui fait tourner les choses et que je récompense. A part Jean-Pierre, qui est très grognon, tout le monde est bien. Agnès a vraiment le sens de l'équipe. Elle ne nous cache rien sur ce qu'elle entend dans l'autre agence, ça nous donne des idées. Quant à Fabienne, c'est une très bonne commerciale qui vend vraiment bien. En plus elle fait des miracles grâce à internet. Si quelqu'un venait à ne plus avoir l'esprit d'équipe, je ne pourrais pas le garder."

Jean-Pierre : "Depuis l'arrivée de ces deux nouvelles, c'est devenu la foire ici. Paul n'écoute plus jamais mes propositions et donne la part belle à celles de Fabienne. En plus, moi, mes primes, elles n'ont pas progressé. Et puis, Agnès, c'est vraiment une faignante. Elle refuse systématiquement de faire les travaux que je lui demande. L'autre jour, elle s'est plainte à Paul qui lui a donné raison, alors qu'elle est supposée travailler pour toute l'équipe. Si ça continue, je vais quitter cette agence."

Fabienne : "Je m'éclate ici. Avec les primes, je gagne vraiment bien ma vie. En plus je passe mon temps à revoir les copains et les copines des mouvements de jeunes. Evidemment, quand ils veulent quelque chose, c'est à moi qu'ils s'adressent. Le vieux, il ne sait pas suivre le rythme. En plus, il n'est pas fichu de se servir d'un PC. Alors qu'aujourd'hui, pour trouver des prix vraiment intéressants pour les packages il faut surfer sur les sites "business to business". Avec les infos que nous ramène Agnès, je peux calibrer des produits ultra concurrentiels. Ce n'est pas pour me vanter, mais je crois que cette agence ne pourrait pas tourner sans moi."

Agnès : "Ce job est pas mal. C'est vrai que c'est tranquille. A l'agence TRO2, ils ont trop rien à me dire sur ma façon de bosser, vu que c'est pas eux qui signent mes contrats. Mais je bosse quand même, hein. En faisant leurs papiers, j'ai l'occasion de voir passer beaucoup d'infos. Ils sont vraiment créatifs là-bas. Ici, c'est autre chose, je sais que Paul peut me virer du jour au lendemain. J'ai intérêt à être bien vue par lui mais c'est pas si grave, je retrouverais un autre job au cas où. Mais bon, je sais que tant que je leur

dis les projets de TRO2, il me fichera la paix. Je n'ai pas vraiment bonne conscience et je préférerais ne pas le faire, mais au moins je suis tranquille au boulot et j'en profite pour faire mes trucs persos."

Le directeur régional a décidé de récompenser l'agence TRO1 pour ses mérites. Il propose de régulariser la situation d'Agnès, la secrétaire de l'agence, et donc de lui offrir un contrat à durée indéterminée et de ne l'affecter qu'à l'agence TRO1. Aussi bien Agnès que le directeur d'agence, Paul, devrait être ravi par cette proposition. Agnès aura enfin un vrai contrat et Paul aura une secrétaire plein-temps. Or, quand il fait la proposition, les deux refusent catégoriquement tout changement par rapport à la situation présente.

4.2 Eléments caractéristiques du SAC

4.2.1 Limites du SAC

Il s'agit dans un premier temps de bien délimiter le SAC qui permettra de comprendre le comportement surprenant du directeur et de la secrétaire. Ceux-ci en sont par ailleurs les seuls acteurs car ils maîtrisent l'ensemble des ressources pertinentes à fournir une explication endogène de leur préférence pour la situation actuelle plutôt que pour la proposition du directeur régional.

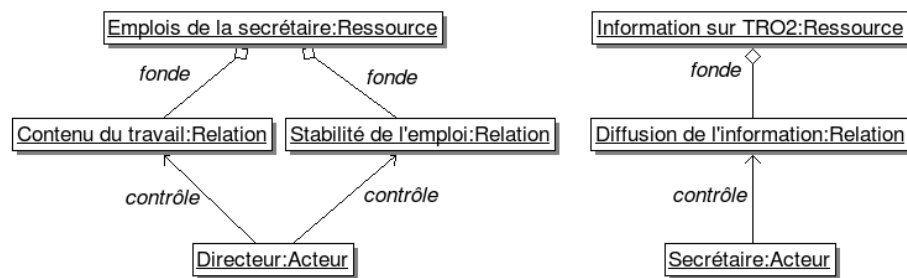


Figure III.10 - Diagramme objet UML présentant les différents éléments du SAC dans le cas Trouville.

Chacun dispose d'une ressource : l'« Information sur TR02 » pour la secrétaire et le « travail de la secrétaire » pour le directeur. Cette dernière ressource fonde deux relations différentes : d'une part, la relation concernant la « Stabilité dans l'emploi » de la secrétaire, et, d'autre part, la relation relative au « Contenu du travail » de celle-ci. La ressource « Information sur TR02 » fonde la relation de « Diffusion de l'information ». Le Table 2 et le réseau de la Figure III.9 résument ainsi les différents éléments du SAC : les ressources, les acteurs et les relations que chaque acteur contrôle.

Ressources	Emploi de la secrétaire		Information sur TRO2
relations	Stabilité de l'emploi	Contenu du travail	Diffusion de l'information
Contrôleur	Directeur	Directeur	Secrétaire

Tableau 3 - Les éléments du SAC : Ressources, Acteurs et relations que chaque Acteur contrôle.

4.2.2 Les enjeux des acteurs

Afin de définir les enjeux, il est nécessaire avant toute chose de fixer une échelle qualitative des valeurs d'enjeu associée à l'échelle numérique (tableau 3). Le modélisateur peut ainsi faire des choix, argumentée, de valeur qualitative. Les valeurs sont ensuite quantifiées en fonction de l'échelle numérique, puis normalisées pour que le capital d'enjeu soit égal pour chaque acteur.

Echelle Quantitative	Echelle numérique
Nul	0
Négligeable	1
Très peu important	2
Peu important	3
Important	4
Très important	5
Essentiel	6

Tableau 4 - Association entre l'échelle qualitative et l'échelle quantitative pour les valeurs des enjeux.

Pour la première relation, « Stabilité de l'emploi », contrôlée par le directeur, les enjeux de la secrétaire, jeune et célibataire, sont *très peu importants* et encore moins pour le directeur dont la préoccupation pour la stabilité de cet emploi n'a aucun caractère stratégique.

Pour la deuxième relation, « Contenu de l'emploi », les enjeux sont plus importants : *essentiels* pour la secrétaire qui tient beaucoup à sa tranquillité, et *très peu importants* pour le directeur qui ne peut cependant pas être indifférent au travail réalisé.

Pour la dernière relation, l'« Information sur l'agence TRO2 », les enjeux sont : *essentiels* pour le directeur qui en a besoin pour « faire tourner » son agence et *négligeable* pour la secrétaire car cette information l'indiffère en tant que telle.

Enjeux	Stabilité de l'emploi	Contenu du travail	Diffusion de l'information
Secrétaire	Très peu important	Essentiel	Négligeable
Directeur	Négligeable	Très peu important	Essentiel

Tableau 5 - Valeurs qualitatives des enjeux.

Le Tableau 4 récapitule les valeurs des enjeux de chaque acteur pour chaque relation. Après avoir remplacée les valeurs qualitative par celles quantitatives, on normalise les enjeux (Tableau 5).

Enjeux	Stabilité de l'emploi	Contenu du travail	Diffusion de l'information
Secrétaire	2	7	1
Directeur	1	2	7

Tableau 6 - Valeurs numériques normalisées des enjeux.

4.2.3 Les relations du SAC

Nous décrivons à présent les relations du SAC, dont nous avons déjà précisé quels en étaient les acteurs contrôleurs. Il nous reste à définir, pour chaque relation, l'interprétation sociologique que l'on associera aux différentes valeurs de l'état de la relation. Cela nous permettra par la suite de fixer la marge de manœuvre de chaque acteur contrôleur, c'est-à-dire l'intervalle $[b_{min} ; b_{max}]$ dans lequel il peut fixer une valeur au terme de l'échange ; ainsi que les fonctions d'effet pour chaque acteur.

Echelles d'interprétation des valeurs d'état de relation

Pour définir l'échelle d'interprétation associée à l'espace d'état d'une relation, on associe d'abord une interprétation aux valeurs extrêmes -1 et 1. Les différentes possibilités de termes de l'échange sont ensuite énumérées et ordonnées. Leur pertinence est le fruit du travail d'analyse sociologique.

Interprétation sociologique	Etat
licenciement abusif	-1
non renouvellement du contrat d'intérim	-0,4
renouvellement du contrat d'intérim	0,4
contrat CDI	1

Tableau 7 - Echelle d'interprétation de la stabilité de l'emploi

Concernant la stabilité de l'emploi (Tableau 6), le directeur dispose d'une marge de manœuvre réduite car il ne dispose pas du pouvoir de transformer le CDD de la secrétaire en CDI, seul le directeur régional le peut. Il ne peut donc pas jouer sur l'intervalle $[-1, 1]$ pour fixer les « termes de l'échange » mais sur un intervalle $[b_{max} ; b_{min}]$ où $b_{max} = 0,4$ (renouvellement du contrat d'intérim) et $b_{min} = -0,4$ car il n'est pas en mesure d'adopter une position dure ou injuste (réaction des collègues, crainte des prud'hommes, ...).

Interprétation sociologique	Etat / intervalle
contrôle strict du travail de la secrétaire	-1
contrôle modéré du travail de la secrétaire	$[-0,4 ; 0,4]$
absence de contrôle du travail de la secrétaire	1

Tableau 8 - Echelle d'interprétation du contenu de l'emploi

Pour le contenu de l'emploi (Tableau 7), le directeur dispose d'une plus grande marge de manœuvre. Nous interprétons les valeurs négatives dans l'espace de choix des termes de l'échange comme un contrôle strict de la quantité et de la qualité du travail réalisé par la secrétaire et de la façon dont elle s'organise, et les valeurs positives comme l'absence d'un tel contrôle. La valeur $b_{min} = -0,4$ provient de l'importance que le directeur accorde à la cordialité de ses relations avec les employés, qu'il ne souhaite pas tendre par un contrôle trop strict ; cependant, sa fonction le rend responsable de la production de l'agence et ainsi de ce que réalise chaque employé, donc $b_{max} = 0,4$ car il ne peut pas admettre un total laisser-faire.

Interprétation sociologique	Etat
désinformation totale	-1
désinformation crédible	-0,3
discrétion de la secrétaire	0
information accessible	0,7
information complète	1

Tableau 9 - Echelle d'interprétation de la diffusion d'information

Enfin concernant la diffusion de l'information, nous interprétons les valeurs positives de l'espace de choix comme la divulgation d'informations, les valeurs négatives comme de la désinformation et la valeur nulle comme la discrétion de la secrétaire à propos de ce qu'elle peut savoir de l'activité de TRO2. Les valeurs proposées, $b_{min} = -0,3$ et $b_{max} = 0,7$, correspondent à la quantité d'informations que la secrétaire peut obtenir et rendre crédible auprès du directeur de TRO1.

Fonctions d'effet

Une des méthodes permettant de définir les fonctions d'effet d'une relation est de déterminer le solde de chaque acteur correspondant à chaque état remarquable de la relation, puis d'extrapoler la fonction. Il est également possible de fixer l'amplitude maximum des soldes d'un acteur : plutôt neutre, de neutre à très bon, ... ; et il sera alors nécessaire de fixer les intervalles correspondant aux différents qualificatifs (par exemple : "neutre" correspond à $[-0,3 ; 0,3]$, "très bon" correspond à $0,8, \dots$). Pour tenir compte des interactions entre les effet d'une relation sur les différents acteurs, il est possible par exemple de qualifier une relation de "gagnant-gagnant ou perdant-perdant" pour exprimer que les fonctions d'effet évoluent dans le même sens, ou de "perdant-gagnant" pour exprimer qu'elles évoluent en sens inverse. Il est également possible de qualifier une relation en fonction du type de transaction ou de jeu qu'elle impose aux acteurs. Par exemple, la relation existante entre le directeur et la secrétaire est une sorte de dilemme du prisonnier (cf chapitre V) où les deux acteurs ont intérêt à coopérer pour être satisfaits.







Fonctions d'effet	Directeur	Secrétaire
Stabilité de l'emploi	$3 * x$ 	$10 * x$ 
Contenu du travail	$-3 * x^2$ 	$7 * x$ 
Diffusion de l'information	$10 * x$ 	$-2 * x $ 

Tableau 10 - Les fonctions d'effet du cas Trouville par acteur et par relation.

Concernant la stabilité de l'emploi, avoir un emploi stable produit un plein effet sur le solde de la secrétaire c'est-à-dire que si elle l'a alors $Effet(1) = 10$, et dans le cas contraire alors $Effet(-1) = -10$, -10 et 10 étant les valeurs extrêmes des soldes, d'où la fonction $Effet(secrétaire, x) = 10 * x$. Quant au directeur, sa préoccupation pour cet emploi est en proportion avec sa stabilité mais elle reste limitée d'où la fonction $Effet(directeur, x) = 3 * x$. On a donc deux amplitudes pour les soldes, l'une assez moyenne pour la secrétaire et l'autre plutôt neutre pour le directeur. Cette

relation permet d'exercer une interaction de type gagnant-gagnant.

Pour le contenu de l'emploi, l'effet des « termes de l'échange » sur le solde de la secrétaire est proportionnel au niveau de ce contrôle, car elle se trouvera satisfaite de n'avoir pas à subir un contrôle étroit de son travail d'où $Effet(secrétaire, x) = 7 * x$. Quant au directeur, la fonction $Effet(directeur, x) = -3 * x^2$ correspond à l'idée que tout excès dans l'application ou le relâchement de son contrôle ne peut que lui attirer des difficultés, et que le plus confortable pour lui est d'exercer un contrôle modéré. La forme de parabole inversée de cette fonction exprime cette idée. Dans l'espace des choix possibles pour les « termes de l'échange », les soldes sont donc moyens pour la secrétaire et neutre pour le directeur.

Enfin, l'effet de l'état de la diffusion de l'information sur le directeur correspond à la pleine exploitation qu'il fera de cette information, d'où $Effet(directeur, x) = 10 * x$. Quant à la secrétaire, sa tranquillité lui commanderait de ne diffuser aucune information, qu'elle soit exacte ou fausse car toute autre situation peut présenter des risques, d'où $Effet(secrétaire, x) = -2 * |x|$.

5 Conclusion

Nous avons développé dans ce chapitre un méta-modèle des organisations sociales dont la grande originalité tient à ce qu'il est fondé sur une théorie, la sociologie de l'action organisée. Ce méta-modèle, nommé RAR, s'appuie sur les concepts de *Ressources*, d'*Acteurs* et de *Relations* pour décrire la structure d'une organisation sociale telle que l'entendent les fondateurs de la SAO – Michel Croier et Erhard Friedberg. L'organisation est vue comme un système de *Relations* de pouvoir (élémentaires) entre *Acteurs*. Chaque *Relation* est fondée sur une *Ressource* et est contrôlée par un *Acteur* qui en fixe les *termes de l'échange*, c'est à dire un comportement qui détermine les possibilités d'accès à la *Ressource* pour tous les *Acteurs* qui en dépendent. Le comportement d'un *Acteur* sur une *Relation* est toutefois contraint la *marge de manœuvre* dont il dispose sur chaque *Relation* qu'il contrôle, cette marge de manœuvre pouvant être modifiée par un acteur qui en a les moyens. De plus, les *objectifs* des *Acteurs* les conduisent à avoir des *enjeux* plus ou moins important sur les différentes *Relations*, et ils peuvent avoir certaines *solidarité* les uns avec les autres. L'organisation peut alors être vue comme un jeu qui consiste, pour chaque acteur, à échanger des comportements dans la limite de sa marge de manœuvre et, si possible, à moduler celle des autres pour servir au mieux ses enjeux, c'est à dire à disposer de la capacité d'action nécessaire à atteindre ses objectifs.

Nous montrons ensuite comment ces concepts peuvent être mobilisés pour donner une évaluation quantitative de la *satisfaction* et du *pouvoir* de chaque acteur au sein de l'organisation, l'approfondissement et la discussion de ses notions étant, entre autres, l'objet du *chapitre IV*. Toutefois, nous avons d'hors et déjà introduit une distinction entre la *satisfaction ego-centré*, qui mesure la capacité d'action dont un *Acteur* dispose pour atteindre ses objectifs propres, et la *satisfaction socio-centré*, qui tient compte des *solidarité* et donc de la capacité des autres acteurs à atteindre leurs objectifs.

Le modèle RAR est décrit à l'aide de diagrammes de classes UML. Nous en proposons également une formalisation ensembliste. La modélisation ne couvre pas tous les aspects d'une organisation sociale et nous espérons que cette formalisation facilitera les futurs travaux qui se chargeront de ces aspects. Parmi ces limites, il nous semble que la dynamique de la structure du SAC est la plus complexe : les acteurs sociaux ne se contentent pas de jouer des contraintes et opportunités d'une structure organisationnelle, ils contribuent aussi à produire cette organisation. Par exemple quelques extensions intéressantes seraient :

- Ouverture du système : quels *enjeux* et *soldes* pour les nouveaux *Acteurs* du système ?

Quelles *solidarités* leurs accordent les autres ?

- Dynamiques des *Ressources* et des *Relations* : comment prendre en compte le transfert de la maîtrise des *Ressources* et du contrôle des *Relations* ? Comment la disparition ou la création de nouvelles *Ressources* et/ou *Relations* impacte les objectifs des *Acteurs* ?

- Enjeux : Comment un *Acteur* peut-il modifier ses enjeux et donc changer ses objectifs ?

Nous avons au final proposé un exemple de modélisation d'un SAC qui est un cas d'étude de la SAO. En l'état, le méta-modèle présenté ici dispose d'une expressivité suffisante à couvrir de nombreux cas issus de cette théorie (voir *chapitre VI*) et s'avère suffisamment clair pour intéresser des acteurs de la recherche issus d'autres champs disciplinaires.

La pertinence du méta-modèle semble avérée dans le domaine de la simulation sociale multi-agent, et il serait intéressant d'explorer ses champs d'application dans les SMA, notamment sur la façon dont les agents gèrent leur autonomie. En effet, et dans la limite de nos connaissances, il n'existe pas de modèles organisationnels dans les SMA qui fassent de la *relation de pouvoir* une entité de premier ordre.

Chapitre IV - Formulation mathématique et interprétation sociologique d'indicateurs

1 Introduction

Dans le chapitre précédent (*chapitre III*) nous avons proposé un méta-modèle des systèmes d'action concret (SAC), qui nous permet à présent, et dans la limite de son expressivité, de créer des modèles de SAC. Le chapitre suivant (*chapitre V*) propose un modèle de rationalité destiné à rendre compte du comportement d'un acteur stratégique. Notre objectif étant, *in fine*, de valider le méta-modèle par la modélisation et la simulation d'un SAC, issu d'un cas d'étude bien connu, et quelque peu plus complexe que le cas Trouville (ce que nous proposons au *chapitre VI*). C'est à dire qu'il nous faudra comparer les données issues du cas d'étude sociologique avec celles que l'on peut inférer du modèle, ainsi qu'avec les résultats que produiront les simulations. L'essence première de ce chapitre est alors de proposer des indicateurs facilitant les comparaisons entre les données de sociologiques et les données numériques, c'est à dire qui permettent interpréter celles-ci en des termes propres à l'*analyse stratégique*. Bien sûr, les catégories du méta-modèle fournissent une base à l'interprétation sociologique, puisque celui-ci est fondée sur la SAO, mais nous souhaiterions pouvoir disposer d'indicateurs plus synthétiques, qui agrègent justement les attributs (*enjeux, soldes, solidarités,...*) propres aux éléments de la modélisation.

Dans le détail, l'usage des indicateurs va principalement intervenir à trois niveaux de la modélisation/simulation :

- *au niveau de la modélisation d'un SAC* : la réalisation d'un modèle de SAC ne va pas de soi, les données de terrains qui permettent de le construire sont nombreuses et potentiellement incomplètes, ce qui implique de faire des hypothèses pour les combler. Par ailleurs, personne n'étant à l'abri de l'erreur, le modélisateur a pu se tromper dans son implémentation. Dans tous les cas, le nombre de paramètres du modèle peut s'avérer être un frein à sa compréhension globale, et par ce à la détection d'une modélisation erronée. Les indicateurs servent alors à vérifier la bonne orientation de la modélisation, sa cohérence générale avec les données d'expertise. Ainsi, si à l'aune de ces indicateurs, l'interprétation du modèle s'éloigne sensiblement de ce que les sociologues constatent sur leur terrain ou objet d'étude, on peut alors remettre en cause la modélisation effectuée, et éventuellement circonscrire le problème.
- *au niveau de la validation des modèles de rationalité* : sous les hypothèses que la modélisation du SAC est validée et que l'on dispose des données sociologiques sur la régulation¹⁸ effective du SAC, on peut procéder à la validation des modèles de rationalité mise en œuvre dans des simulations. Décréter la validité du modèle est assez facile. Il suffit de constater la convergence récurrente des simulation vers un état qui correspond à la régulation observée sur le terrain. Dans le cas contraire, il est plus difficile de rechercher les causes de l'échec. A ce titre, il est intéressant de disposer d'indicateurs qui caractérisent assez finement l'issue des *échanges de comportements* entre acteurs pour un état donné du système, que ce soit pour analyser l'état à convergence ou la succession des états rencontrés au cours d'une simulation.
- *au niveau de l'analyse des résultats des simulations* : dans l'hypothèse où le SAC et les modèles de rationalité sont validés, on souhaite proposer une analyse compréhensive de la régulation observée en fin de simulations, lorsqu'elles convergent. Là encore, il est intéressant de mobiliser des indicateurs qui précisent l'issue des *échanges* entre acteurs. Leur rôle est alors de relier plus facilement, et de façon intelligible, les éléments de la structure d'un SAC et le comportement des acteurs à la régulation constatée à convergence des

¹⁸ Par *régulation*, nous entendons à la fois le processus de stabilisation des échanges de comportement, et, souvent, l'état résultant de ce processus.

simulations.

Dans le premier cas les indicateurs ne sont pas effectifs, dans le sens où ils ne dépendent pas de l'état du système, ils sont de l'ordre du potentiel, et nous les appelons des **indicateurs ex situ**. Dans le second et le dernier cas, les indicateurs sont déterminés par un l'état donné du système et nous les nommons des **indicateurs in situ**.

La majorité des (catégories) d'indicateurs que nous proposons font écho à la question de base qui fondent toute analyse en SAO, à savoir : comment le pouvoir, en tant que relation déséquilibrée d'échange de comportements, régule une organisation ? Si les travaux de Crozier et Friedberg porte le concept de pouvoir à un niveau de complexité trop élevé pour le modéliser directement, à l'inverse les définitions simplifiées qu'ils proposent ne sont pas suffisamment exhaustives. Face à cette difficulté, nous proposons une conception de l'échange de comportement originale, simple, et en cohérence avec la conception du pouvoir en SAO. Nous avons considéré que l'échange consiste en un triptyque **donner/recevoir/concéder** qui va donner lieu à trois catégories d'indicateurs :

- les **indicateurs de pouvoir** : il s'agit alors de mesurer la part de *capacité d'action* qu'un acteur peut offrir, ou ôter (les indicateurs sont alors *ex situ*, ils expriment un potentiel), ou la part de capacité d'action effectivement apportée ou retirée (l'indicateur est *in situ*, il dépend d'un état).
- les **indicateurs de satisfaction** : il s'agit de mesurer la part de *capacité d'action* offerte, ou accessible, permettant à un acteur d'atteindre ses objectifs (indicateurs *in situ*).
- les **indicateurs de concession** : il s'agit de mesurer la part de *capacité d'action* perdue par un acteur en regard de celle qu'il était sûr de pouvoir s'octroyer (indicateurs *in situ*).

A partir de ces trois catégories d'indicateurs, il est possible d'en inférer une quatrième, l'**avantage transactionnel**, qui mesure la qualité de l'*exercice du pouvoir* d'un acteur dans ses transactions avec les autres.

D'autres indicateurs sont également présentés comme l'*autonomie* et la *dépendance* d'un Acteur, ou la *pertinence* et la *force* d'une Relation.

Nous introduisons tout d'abord (section 2) certains états remarquables du modèle d'un SAC, en ce qu'ils présentent des propriétés intéressantes. Nous montrons comment la connaissance de ces états facilite la modélisation de l'organisation, l'interprétation des résultats, et la détection des conflits et des alliances structurelles. A ce titre, nous mobilisons quelques indicateurs *in situ* afin d'illustrer notre propos sur l'analyse du cas Trouville (modélisé au chapitre III), bien que ces indicateurs ne soient réellement introduit qu'à la section suivante.

Nous présentons donc, ensuite (section 3), en détail, les catégories d'indicateurs *in situ*, et notamment ceux qui caractérisent l'échange comme un triptyque *donner/recevoir/perdre*. Nous poursuivons l'analyse du cas Trouville à l'aide de ces indicateurs.

Enfin nous décrivons les différents indicateurs *ex situ* en section 4, avant de conclure (section 5).

2 États remarquables du système

Afin de mobiliser au mieux un indicateur *in situ* (section 3), comme la *satisfaction* d'un acteur, il est souvent intéressant de comparer sa valeur pour un état donné avec celles associées à des états qui sont remarquables, en ce qu'ils possèdent des propriétés singulières. L'intérêt de ces comparaisons réside d'une part dans l'interprétation des résultats de simulations. On pourra alors établir les différences ou les similarités existantes entre un état observé à l'issue d'une simulation et un état remarquable, et donc vérifier ou non certaines propriétés. D'autre part, il est possible de caractériser des structures de jeux et des situations de coopérations et de conflits potentiels ou effectifs. L'analyste peut par exemple détecter des dysfonctionnement organisationnels dus à la structure même de l'organisation ou au jeu probable des acteurs.

Parmi les propriétés pouvant caractériser des états remarquables, nous avons retenu les états qui maximisent et minimisent le score, la satisfaction, et le pouvoir de chaque acteur, ainsi que la satisfaction cumulée de tous les acteurs. D'autres états auraient pu être étudiés :

- ceux constituant le front de Pareto, c'est-à-dire l'ensemble des états tels que le score, la satisfaction ou le pouvoir d'un acteur ne peut être amélioré si ce n'est au dépend d'un autre,
- ceux constituant un équilibre de Nash, c'est-à-dire ceux où aucun acteur n'a intérêt à changer sa stratégie. Ce qui revient pour chaque acteur à jouer une stratégie lui garantissant le maximum de satisfaction quelque soit les stratégies des autres.
- ceux minimisant les écarts de satisfactions ou de pouvoir entre acteurs...

Nous avons préféré nous focaliser sur l'utilisation du maximum de satisfaction cumulée car il peut dénoter d'un bon fonctionnement de l'organisation. Plus précisément, dans les organisations composée de *jeux coopératifs*, la satisfaction cumulée maximum est caractéristique de la réalisation des possibles coopérations. Une des hypothèses de Friedberg sur les organisations est, en effet, de considérer qu'elle sont essentiellement composées de jeux coopératifs... mais pas uniquement¹⁹. On notera par ailleurs que la satisfaction cumulée maximale est un optimum de Pareto.

2.1 Satisfactions extrêmes d'un acteur

Les satisfactions extrêmes d'un acteur permettent de situer ce qu'il peut atteindre comme satisfaction dans le meilleur et dans le pire des cas pour lui. L'intérêt de ces valeurs réside dans les comparaisons entre les états pour lesquels elles sont obtenues. On cherchera alors à repérer :

- l'écart entre les valeurs extrêmes pour chaque acteur,
- ce que la satisfaction extrême d'un acteur implique pour les autres,
- les situations de conflit et de coopération potentielle, (notamment en repérant les états de jeu conduisant à des extrema opposés ou identiques pour deux acteurs)
- l'écart entre la satisfaction à convergence de la simulation et les satisfactions extrêmes, ainsi que l'écart entre l'état à convergence et les états associés aux satisfactions extrêmes.

Le calcul des valeurs extrêmes de la *satisfaction* consiste à l'application du *max* ou du *min*

19 [Crozier & Friedberg, 1977], p113-114. « La nouvelle problématique que nous proposons est fondée sur le concept de jeu. [...] Le jeu est l'instrument que les hommes ont élaborés pour régler leur coopération. C'est l'instrument essentiel de l'action organisée. [...] il s'agit d'un jeu de coopération, comme c'est toujours le cas dans les organisations [...]. Ainsi défini, le jeu est un construit humain. [...] La structure (de l'organisation) n'est en fait qu'un ensemble de jeux. »

sur la *satisfaction* associé à chaque *état relationnel* e_R :

- *satisfaction maximum* d'un acteur : $satisfaction_{max}(a) = \max_{e_R \in E_R} (satisfaction(a, e_R))$
- *satisfaction minimum* d'un acteur : $satisfaction_{min}(a) = \min_{e_R \in E_R} (satisfaction(a, e_R))$

Interprétation des satisfactions extrêmes et des états associés

Le premier intérêt des valeurs extrêmes des satisfactions est leur interprétation directe. La satisfaction d'un acteur renvoie à la capacité à atteindre ses objectifs. Les satisfactions extrêmes permettent alors de savoir si les acteurs peuvent disposer des moyens de leurs objectifs, en regard de la structure de l'organisation. Aussi, si la une satisfaction maximum d'un acteur est négative, cela veut dire qu'il n'aura structurellement pas les moyens d'atteindre ses objectifs, ni même de s'en approcher. On peut alors se demander si ce constat est bien la conséquence d'un choix de modélisation ou le fruit d'une erreur. Sur la Figure IV.1 le *Directeur* et la *Secrétaire* ont tous deux une satisfaction maximum positive. Si on pousse l'analyse, on se rend compte que le directeur peut potentiellement s'approcher d'avantage de ses objectifs ($satisfaction_max = 50$) que la secrétaire ($satisfaction_max = 28$).

Par ailleurs, il est possible de comparer la satisfaction des acteurs qui est associée à l'état de satisfaction maximum de l'un d'eux. Par exemple, sur la Figure IV.1, l'état de satisfaction maximum du *Directeur* implique une satisfaction neutre pour la secrétaire, alors que dans l'état de satisfaction maximum de celle-ci, lui dispose d'une satisfaction négative. Il est ainsi possible de repérer des caractéristiques structurelles du SAC.

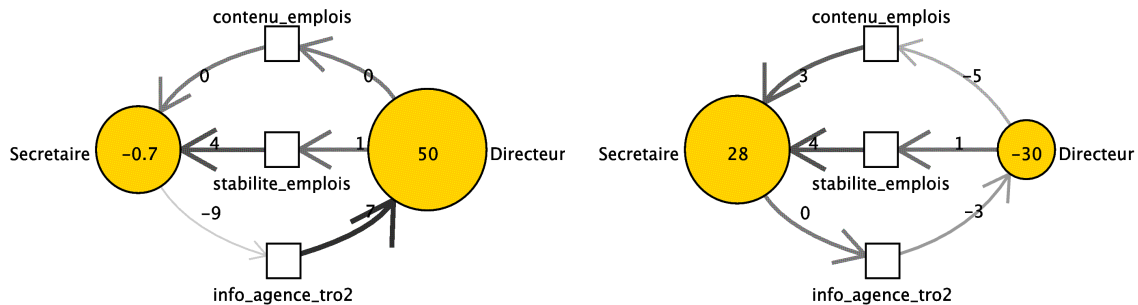


Figure IV.1 - États de satisfaction maximum du directeur (§ gauche) et de la secrétaire (§ droite). Les cercles représentent les acteurs, l'aire est pondérée par la valeur de la satisfaction de chacun. Les carrés représentent les relations. Les arcs représentent les dépendances des acteurs aux relations, une orientation vers une relation indique un contrôle, l'épaisseur est pondérée par la valeur de l'effet. Ces deux états indiquent que chaque acteur peut potentiellement disposer d'une satisfaction positive non négligeable, mais au détriment de l'autre.

Le second intérêt, non des moindres, est de comparer pour un état de satisfaction remarquable d'un acteur, ce que cela implique pour la satisfaction des autres acteurs. Cela permet notamment de voir ce que la satisfaction extrême d'un acteur implique pour les autres. L'état donnant lieu à la satisfaction maximum d'un acteur peut ainsi correspondre à la satisfaction minimale d'un autre acteur, comme c'est le cas dans les jeux à somme nulle, ou à des satisfactions minimales pour l'ensemble des acteurs, ou encore à une satisfaction proche du maximum d'un autre acteur. Les comparaisons sont nombreuses, elles permettent essentiellement de mettre en avant les situations de conflit structurel et de convergence objective d'intérêts. Par exemple dans le cas Trouville (Tableau 11), nous pouvons constater deux points notables :

– l'état de satisfaction minimale du directeur correspond à l'état de somme minimale des satisfactions de tous les acteurs.

–L'état de la relation *stabilité de l'emploi* est identique d'une part pour les états maximum et d'autre part pour les états minimum. Cette relation n'entrainera surement pas de tractations.

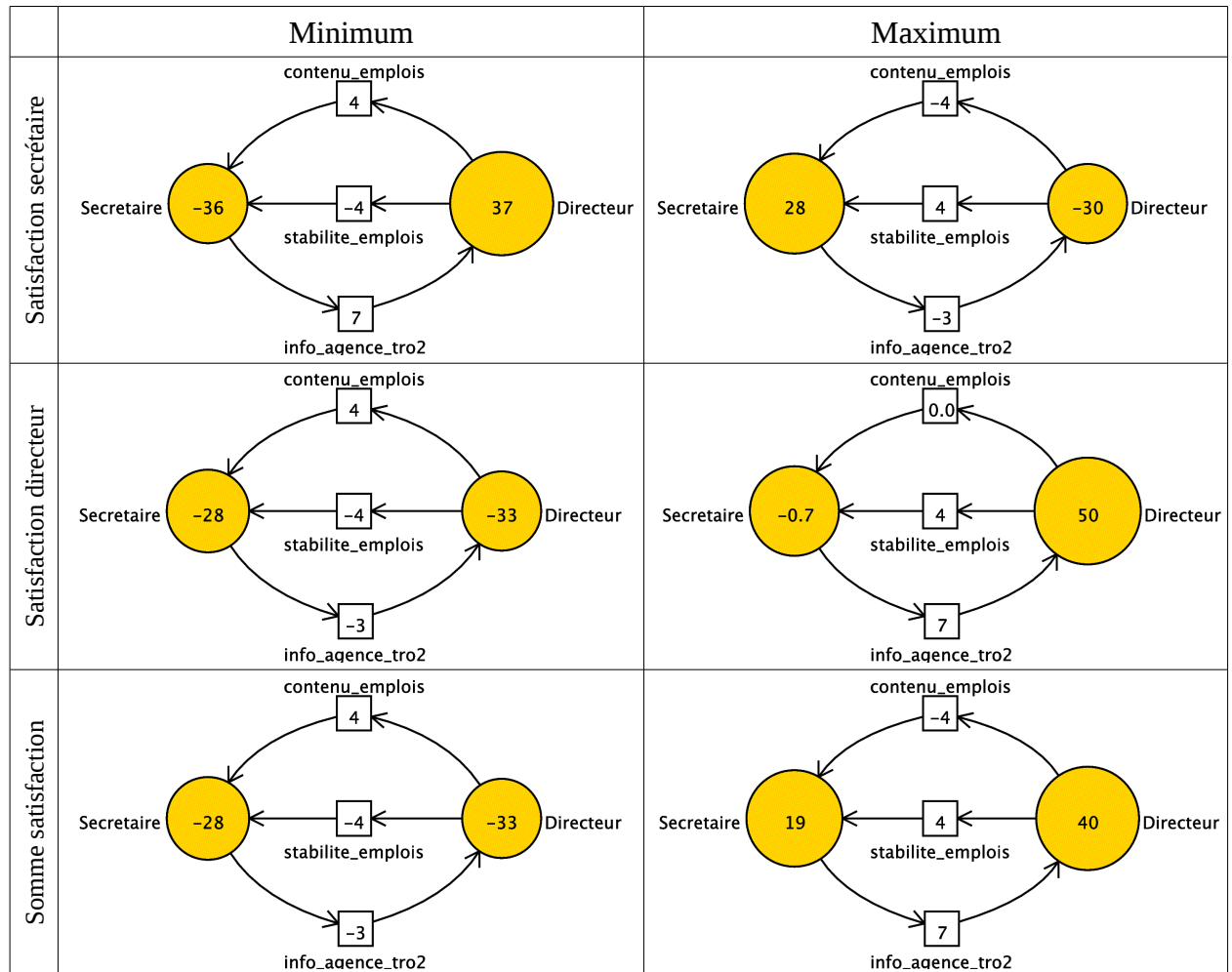


Tableau 11 - Etats remarquables du cas Trouville. Les cercles représentent les acteurs, l'aire est pondérée par la valeur de la satisfaction de chacun. Les carrés représentent les relations, les poids représentent l'état de la relation. Les arcs représentent les dépendances des acteurs aux relations, une orientation vers une relation indique un contrôle, l'épaisseur est pondérée par la valeur de l'effet.

Enfin, après avoir effectué des simulations on pourra observer les états à convergence et constater l'écart entre la satisfaction à convergence et les satisfactions extrêmes, c'est-à-dire ce qu'obtient un acteur par rapport au meilleur et au pire des cas dans un état pour lequel le système est régulé. On pourra de plus constater si des états remarquables ont été atteints ou s'il existe un écart suffisamment important pour en rechercher une explication. Ceci requiert une analyse plus en détail de l'impact des différentes relations et des échanges entre acteurs que nous aborderons plus loin dans ce mémoire (Chapitre VI). Si des comparaisons sont possibles, on peut essayer de trouver les causes des similarités et des différences en usant des concepts construits (importances des relations contrôlée, pouvoir...) afin d'avoir des éléments de compréhension du phénomène émergent. D'autre part, et plus globalement, si l'articulation des concepts tend à des incohérences, la validation peut être remise en question. On distinguera essentiellement ce qui affecte la validation du modèle :

- incohérence par rapport aux données empiriques,

- digression interprétative lors de la modélisation,

de ce qui affecte la validation du méta-modèle :

- incohérence logique,
- insuffisance sémantique.

Un dernier intérêt de ces mesures tient au postulat qu'un acteur social est en mesure d'effectuer une évaluation, même approximative, de sa satisfaction maximum et sa satisfaction minimum. Cette information peut alors être mise en œuvre par l'acteur dans son processus de prise de décision comme nous le verrons au chapitre traitant de la rationalité de l'acteur (Chapitre V). Ce postulat implique une évaluation, même approximative, du jeu des possibles dans le système qui n'est pas incompatible avec le postulat de rationalité limitée. Dans l'algorithme que nous proposons, nous verrons que le processus décisionnel et les simulations ne sont pas sensibles aux faibles erreurs d'évaluation de la satisfaction minimum et à la surestimation de la satisfaction maximum. Il est alors possible d'envisager des heuristiques d'approximation de ces valeurs à partir de données imparfaites qui autorisent la convergence du système. Les cas limites de ces approximations (écart important par rapport à la satisfaction minimum et sous-estimation de la satisfaction maximum) ne sont toutefois pas explorés dans nos travaux, essentiellement à cause de l'ampleur de la tâche et de sa nécessaire nature interdisciplinaire avec les sciences cognitives (Kahneman prix nobel d'économie [Kahneman & Tversky, 1979]).

2.1 Max et min de la somme des satisfactions

Il est une autre grandeur de première importance en ce qu'elle correspond à un ou plusieurs états particuliers du système : le maximum de la somme des satisfactions. Par abus de langage, on pourrait, à tort, la considérer comme une évaluation de la satisfaction du SAC étudié. Derrière cet abus de langage on retrouve la maxime utilitariste du « plus grand bonheur pour le plus grand nombre » avec tous les dangers qu'elle peut présenter en tant que justification d'une pragmatique, voir d'une dérive utilitariste dans l'économie et la société. Cette mesure est déjà en soi une aporie, pour reprendre l'expression de Pascal Rogerro [Rogerro, 2006], de questions sociales complexes, celles de l'équité, de l'égalité, du bien être social ; il ne faudrait pas en plus dissimuler la formule mathématique derrière un terme non approprié qui en obscurcit les caractéristiques. C'est pourquoi nous éviterons les raccourcis et parlerons du maximum de la somme des satisfactions.

Cette mesure est donc un cumul des satisfactions individuelles, dont les états du système pour lesquels son maximum est atteint présentent la propriété remarquable d'être des optima de Pareto. C'est-à-dire que dans chacun de ces états, un acteur souhaitant améliorer sa satisfaction ne peut le faire qu'au dépend de la satisfaction d'un ou de plusieurs autres.

Par rapport à notre définition de la satisfaction, cet état n'est en rien garant d'équité, et encore moins d'égalité. Les états d'équités peuvent être définis comme des états où l'échange est apprécié comme juste par les parties participantes ; les états d'égalité, comme ceux où les satisfactions de chacun sont identiques. Pour illustrer ce propos, supposons deux acteurs, a et b , constituant un système dans un état d'optimum de Pareto, e_1 , où la satisfaction de a est 100 et celle de b est 0. Il semble évident que 0 se distingue clairement de 100 et que cet état est très inégalitaire. D'autre part, parmi les états possibles de ce système, s'il en est un autre, e_2 , qui assure à a une satisfaction de 45 et à b une satisfaction de 40, il est alors intéressant de constater que cette situation, plus « juste » en terme de distribution de satisfactions, se distingue de l'état e_1 du maximum de satisfaction cumulée. Un état e_3 offrant une satisfaction de 10 à l'acteur a et de

90 à l'acteur b serait plus juste par comparaison avec l'état e_1 , mais pas équitable.

Plus concrètement, même s'il n'est pas à proprement parler question d'un SAC, on constate aussi bien, qu'à une période où la production de richesse au niveau mondial n'a jamais été aussi élevée que l'est l'accroissement des inégalités de leur redistribution, il ne peut être question d'égalité, pas plus que d'équité. Pour traiter de ce thème on pourra chercher un état minimisant les écarts de satisfactions, ou minimisant l'écart type ou maximisant la satisfaction minimum, ou en maxi-minimisant la satisfaction la plus faible.

Les limites de ce type d'indicateurs agrégés ont souvent été étudiées dans d'autres domaines, notamment la théorie du choix social (*social choice theory*) et l'économie du bien être (*welfare theory*). En économie du bien être, Amartya Sen propose de recourir à un concept d'utilité social des plus intéressants, basé non sur les biens, mais sur la capacité à agir ou à atteindre un état qu'il nomme *capabilité* [Sen, 1979]. La *capabilité* est la notion qui en terme d'interprétation se rapproche le plus de la satisfaction en ce qu'elle pointe avant tout la capacité d'action, la satisfaction s'en distingue toutefois de par son caractère social. Un exemple connu que propose Sen [Sen, 1981] est celui de la famine du Bengale, en Inde, de 1943 qui a donné lieu à 3 millions de morts alors que, selon lui, les récoltes étaient suffisantes. Les ouvriers agricoles se sont retrouvés face à une flambée des prix du riz due à la situation de guerre. Alors que le pays disposait de suffisamment de denrée alimentaire, les travailleurs agricoles ne pouvaient y accéder faute de salaires suffisants. Cet exemple illustre deux faits importants. Tout d'abord, l'égalité utilitariste, basée sur la somme totale des utilités retirées de la taille du gâteau, en l'occurrence les stocks de riz, n'est pas en mesure de se saisir des questions d'égalité. En effet dans le présent cas l'utilité des ouvriers agricoles est compensée par celle des spéculateurs de riz. D'autre part, l'exemple illustre bien la non corrélation entre le maximum de la somme des satisfactions individuelles et le bien être sociétal, c'est-à-dire le fonctionnement de l'organisation, celui qui en assure la survie. Un autre exemple, tout aussi éclairant est celui de la banqueroute de l'Argentine de 2001 qui a consisté en une évacuation massive des capitaux du pays dans un jeu à somme nulle au profit de quelques uns. Certains, peu, ont disposé d'une satisfaction très élevée, les autres en pâtissant. Globalement, la satisfaction cumulée est importante car pour 135 milliards de dette il y a eut 150 milliards de capitaux évaporés via la chambre de compensation Clearstream [Robert & Lorent, 2003]. Le système économique argentin s'est ainsi écroulé alors que la satisfaction cumulée était, si ce n'est maximum, du moins importante.

Ces limites bien comprises, cette mesure de satisfaction maximale cumulée est pertinente. En effet dans bon nombre de cas cette mesure exprime la réalisation de coopérations positives et créatrices de satisfaction. Certes, ces coopérations peuvent être déséquilibrées et fortement avantager un acteur du SAC, mais ce cas pourra être facilement détecté. Rappelons que le SAC, tel que le postule Crozier, est une organisation qui nécessite toujours un minimum de coopération (positive) entre ses membres.

L'issue des simulations s'écartant par trop de cette valeur doit orienter l'analyste vers une évaluation de la délimitation du SAC qu'il a construit. Est-ce qu'elle correspond bien à la question qu'il se pose ? Le cas échéant, il pourra s'interroger sur la possible existence d'une crise organisationnelle et enfin rechercher les relations conflictuelles et les alliances qui en sont la cause.

3 Indicateurs *in situ* (ou dépendant de l'état du système)

La constitution d'indicateurs est indispensable à la caractérisation d'un modèle d'organisation, autant qu'à la validation de celui-ci. Les indicateurs *in situ* permettent de caractériser l'organisation dans un état donné du système. Caractériser un état permet donc

d'analyser une situation, notamment l'état de convergence d'une simulation, et ainsi une séquence d'états, par exemple la trace d'un processus. On comprend mieux alors pourquoi les indicateurs *in situ* sont non seulement indispensables pour interpréter les résultats des simulations effectuées, mais également pour rendre compte du déroulement des processus comportementaux conduisant, ou non, à des états de convergence particuliers. Ils sont donc à la fois les garants de la bonne interprétation des résultats de simulations et ceux de la validation des modèles d'agents mise en œuvre pour représenter le comportement des acteurs sociaux.

Nous proposons trois grandes catégories d'indicateurs *in situ* qui rendent compte de l'échange de comportements entre acteurs, et donc du pouvoir en tant que relation d'échange, tel que le postule la SAO. Le parti pris est ici d'analyser l'échange selon le triptyque **donner/recevoir/concéder** qui s'il n'est pas issu de la SAO, ne contredit toutefois pas ses hypothèses. Les catégories d'indicateurs sont fondées sur l'*impact* que l'état d'une relation induit sur un acteur, c'est-à-dire l'effet plus ou moins négatif qu'il en retire pour atteindre ses objectifs. Nous distinguons alors la catégorie *satisfaction* : ce qu'un acteur *reçoit* des autres (en termes de possibilité d'atteinte de ses objectifs), la catégorie *pouvoir* : ce qu'un acteur *donne* aux autres acteurs, et la catégorie *concession* : ce qu'un acteur *concède* aux autres acteurs.

A travers ces catégories nous entendons préciser la bipolarité des effets de l'*acte de donner*. En effet l'acte de donner s'exprime classiquement dans une prise en compte partielle du rapport de cause à effet : un acteur donne (pouvoir), un autre acteur reçoit (satisfaction)²⁰. Pourtant, il y a également un effet pour l'acteur qui donne, et qui ne peut s'exprimer comme l'opposé de ce qui est donné, sauf certain cas particuliers comme les jeux sociaux à somme nulle. C'est pourquoi nous considérons la *concession* pour mesurer, rationnellement, l'effet sur lui-même qu'implique le don d'un acteur. Muni de ces indicateurs, nous sommes alors en mesure d'évaluer l'*avantage transactionnel* d'un acteur *ego* dans une transaction avec un autre acteur *alter*, c'est-à-dire la différence entre ce que *alter* lui a apporté de plus que le minimum qu'il aurait reçu dans le pire des cas et ce que *ego* a du concéder.

D'autre part, pour chaque catégorie d'indicateurs que nous présentons, celle-ci peut se décliner en sous-catégories selon que l'on considère deux dimensions : la *forme de l'évaluation subjective de l'acteur* et la *portée sociale* de l'indicateur. Nous introduisons ces variantes dans la section suivante où nous présentons l'*impact*, un indicateur qui comme nous le verrons dans les sections suivantes, est à la base de tous les autres indicateurs : satisfaction, pouvoir et concession.

3.1 Sur la nomenclature des indicateurs

Les catégories d'indicateurs qui traitent de l'échange se déclinent en plusieurs instances concrètes d'indicateurs qu'il faut alors qualifier afin de les distinguer. La plupart des indicateurs permettant de caractériser l'échange sont des indicateurs *in situ* (*impact*, *satisfaction*, *pouvoir*, *concession*, *avantage transactionnel*), d'où la position de cette section, mais certains sont des indicateurs *ex situ* (*force*, *pouvoir structurel*) pour lesquels ce qui est proposé ici tient également. Nous proposons de spécifier les indicateurs traitant de l'échange selon les deux axes qui suivent :

20 Ce qu'un acteur reçoit n'est en fait pas directement une causalité de l'acte de donner. En effet comme le met bien en avant Marcel Mauss dans son analyse du Potlatch [Mauss, 1924] la nature des dons/contre-dons, c'est-à-dire des échanges, se base sur une triple obligation de donner, de recevoir, et de rendre. L'acte de recevoir est ainsi un acte intentionnel et non une conséquence directe de l'acte de donner. Notre modélisation ne remet nullement en cause ceci puisque ce qui se donne est une capacité d'action. L'acteur qui en profite reste toutefois libre de s'en saisir, et ainsi d'accepter de recevoir ce don, ou non, à la différence des travaux de Mauss où l'acte de recevoir est une obligation.

- **La forme de l'évaluation subjective de l'acteur** : Les indicateurs de l'échange sont tous basés sur la façon dont les acteurs évaluent l'état d'une ou plusieurs relations.
 - **Niveau ego-centré** : indicateurs dont le calcul est uniquement fondé sur les *enjeux* et les *soldes* de l'acteur concerné.
 - Les indicateurs du niveau ego-centré sont qualifiés de « ego-centré ».
 - Ainsi, au *chapitre III*, nous avons présenté la *satisfaction ego-centrée*.
 - **Niveau socio-centré** : indicateurs dont le calcul est en plus basé sur les *enjeux* et les *soldes* des autres acteurs dans la mesure des *solidarités* qu'il a pour eux.
 - Comme ils représentent la forme canonique employée dans ce mémoire, les indicateurs du niveau socio-centré ne sont pas qualifiés.
 - Au *chapitre III*, nous parlions simplement de la *satisfaction*.
- **La portée sociale** : on considère ici qu'un indicateur peut s'appliquer à un seul acteur, à une dyade ou à plusieurs (tous, les autres) acteurs du SAC. On parlera alors de **portée individuelle, dyadique** ou **sociétale**. Pour une même catégorie, il peut y avoir plusieurs indicateurs de même portée, on ne peut donc les distinguer par l'attribut de leur portée sociale. Par contre, pour sur un même niveau, *ego-centré* ou *socio-centré*, les différents indicateurs d'une même catégorie sont calculés à partir de la combinaison d'un indicateur de base, ou indicateur *élémentaire*. On désignera alors les différents indicateurs en précisant l'indicateur élémentaire auquel on adjoindra un qualificatif précisant la nature de l'opération sur l'indicateur élémentaire :
 - « **cumulé** » porte sur une somme de l'indicateur élémentaire. Par exemple, la *satisfaction cumulée* est la somme des *satisfactions* de chaque acteur.
 - « **maximal** » porte sur un maximum appliqué à un ensemble d'indicateurs élémentaires. L'*impact maximal* d'une relation est ainsi le maximum sur l'ensemble des acteurs de l'*impact* de la relation sur chacun.
 - « **relatif** » fait référence à un indicateur calculé à partir de la différence entre deux indicateurs élémentaires. Le *pouvoir relatif* d'un acteur *ego* sur un acteur *alter* est ainsi la différence entre le *pouvoir* qu'il a sur *alter* et celui que *alter* a sur lui.
 - « **propre** » est utilisé pour désigner un indicateur portant uniquement sur les relations que contrôle un acteur parmi celles mises en œuvre pour calculer l'indicateur élémentaire. La *satisfaction propre* représente ainsi le mesure de capacité à atteindre ses objectif, qu'un acteur s'octroie par les relations qu'il contrôle.
 - « **global** » est utilisé pour désigner un indicateur portant sur l'ensemble des relations que contrôle un acteur *ego*, alors l'indicateur *élémentaire* vise un acteur *alter* et porte uniquement sur les relations dont dépend *alter* et que contrôle *ego*. Ainsi la *concession* faite par un acteur *ego* à un acteur *alter*, mesure la part de satisfaction qu'il a concéder, sur les relations qu'il contrôle et dont *alter* dépend, par rapport à ce qu'il aurait pu, avec certitude, s'octroyer au maximum ; alors que la *concession globale* de *ego* mesure, sur le même mode de maximisation certaine, la part de satisfaction perdue sur toutes les relations qu'il contrôle.

Bien sûr, chaque catégorie d'indicateur ne donne pas lieu à autant de déclinaisons que la nomenclature proposée en fourni théoriquement. Par ailleurs, parmi les indicateurs qui font sens, nous n'en présentons qu'un certain nombre, suffisant, pour montrer la richesse autant que la complexité d'interprétation qu'ils permettent. Cette liste n'est toutefois pas exhaustive, et les indicateurs présentés ne sont pas forcément appropriées à tous les cas d'étude, ainsi les indicateurs *socio-centrés* ne sont d'aucune utilité pour les modèles ne tenant pas compte des

solidarités entre acteurs.

3.2 Impact de l'état d'une relation sur la capacité d'action d'un acteur

L'*impact*, est une catégorie d'indicateurs qui permettent de mesurer la *capacité d'action* que procure une relation à un acteur en fonction de son état, c'est à dire du comportement adopté par le contrôleur de la relation. Dit autrement l'impact d'une relation sur un acteur représente la contribution de celle-ci à la satisfaction de l'acteur. Les dénominations des différents indicateurs d'*impact* sont résumées au tableau Tableau 12, et l'expression mathématique correspondant à chacun des indicateurs est fournie en table Tableau 13.

L'*impact ego-centré* d'une relation sur un acteur est donné par l'effet de la relation sur l'acteur, pondéré par l'enjeu de l'acteur pour cette relation. Il correspond à une part de la *satisfaction* de cet acteur, et à une part du *pouvoir* de l'acteur contrôlant cette relation. L'*impact ego-centré* permet ainsi de savoir quelles relations affaiblissent ou améliorent la satisfaction et le pouvoir des différents acteurs pour une situation donnée. Cela permet de comprendre finement comment le jeu des différents acteurs affecte leurs partenaires.

L'*impact ego-centré cumulé* d'une relation consiste en la somme des *impacts ego-centrés* de chaque acteur dépendant de la relation. Lorsque l'on s'intéresse à la somme des satisfactions des acteurs du SAC, cet indicateur permet de connaître quelles sont les relations ayant le plus de poids sur la détermination de cette valeur.

L'*impact ego-centré maximal* renvoie à la valeur maximale de l'impact d'une relation pour l'ensemble des acteurs impliqués dans cette relation. Cela permet de repérer rapidement les relations qui ont un fort impact et celles qui n'ont qu'un faible impact.

A chaque indicateur du niveau ego-centré correspond un indicateur du niveau socio-centré. Ceux-ci sont construits comme une somme, pour chaque acteur, de l'indicateur ego-centré associé, pondéré par la solidarité que leur accorde l'acteur concerné. Ainsi l'*impact* d'une relation r sur d'un acteur *ego* est donné par la somme, pour chaque acteur *alter*, de l'*impact ego-centré* de r sur *alter*, pondéré par la solidarité de *ego* pour *alter*. Les indicateurs *socio-centrés* sont bien sûr plus appropriés pour les cas où les solidarités des acteurs sont prises en compte. Il reste toutefois intéressant pour l'analyste de comparer les deux niveaux. En effet les solidarités issues des données de terrains peuvent s'avérer inexactes, un acteur pouvant essayer de justifier une stratégie sous couvert d'une alliance ou d'un conflit interpersonnel. La comparaison avec le niveau ego-centré pourra alors révéler quel avantage personnel il retire de l'actuelle situation. A l'inverse, pour des situations où les indicateurs ego-centrés n'expliquent pas les choix d'un acteur, l'analyste pourra faire des hypothèses sur les solidarités d'un acteur qui, au regard des indicateurs socio-centrés, éclaireront mieux le choix de ses stratégies.

Impact d'une relation	Portée individuelle	Portée sociétale	
	Elémentaire	Somme	Max _{$a \in A$}
Niveau ego-centré (enjeu + effet)	Impact ego-centré	Impact ego-centré cumulé	Impact ego-centré maximal
Niveau socio-centré (enjeu + effet + solidarité)	Impact	Impact cumulé	Impact maximal

Tableau 12 - Différents indicateurs de l'impact d'une relation.

Niveau ego-centré	Impact ego-centré	$impact_{ego-centré}(r, a, e_r) = effet(r, a, e_r) \cdot enjeu(r, a)$
	Impact ego-centré cumulé	$impact_{ego-centré\ cumulé}(r, e_r) = \sum_{a \in A} impact_{ego-centré}(r, a, e_r)$
	Impact ego-centré maximal	$impact_{ego-centré\ max}(r, e_r) = \max_{a \in A} impact_{ego-centré}(r, a, e_r)$
Niveau socio-centré	Impact	$impact(r, ego, e_r) = \sum_{alter \in A} solidarité(ego, alter) \cdot impact_{ego-centré}(r, alter, e_r)$
	Impact cumulé	$impact_{cumulé}(r, e_r) = \sum_{a \in A} impact(r, a, e_r)$
	Impact maximal	$impact_{max}(r, e_r) = \max_{a \in A} impact(r, a, e_r)$

Tableau 13 - Formules mathématiques des indicateurs d'impact.

3.1 Satisfaction

La satisfaction est l'indicateur, introduit au précédemment chapitre, qui permet de mesurer la capacité d'action d'un acteur. Les différents indicateurs de satisfaction d'un acteur (tableau Tableau 14) se basent sur l'impact des relations dans lesquelles il est engagé. Ces indicateurs sont basés sur la somme des impacts des relations sur un acteur (Tableau 15).

On considère ici encore un niveau *ego-centré* et un niveau *socio-centré* (Tableau 15) où l'on tient compte des *solidarités* de l'acteur ciblé. Pour le *niveau ego-centré*, il s'agira alors de mesurer la capacité d'action d'un acteur en fonction de ses objectifs. Le *niveau socio-centré* s'attachera en plus à prendre en compte la capacité d'action des autres acteurs en fonction des différents poids de *solidarités* qu'il a pour ceux-ci.

Les indicateurs de *portée individuelle* (Tableau 14) concerne la *satisfaction* d'un acteur. On distinguera les indicateurs dont le calcul se base sur l'*impact* de chaque relation, de ceux qui se base uniquement sur l'impact des relations contrôlées par l'acteur. Dans ce cas, on parlera alors de *satisfaction propre* et de *satisfaction ego-centré propre*, en référence à la nomenclature proposée en section 3.1.

La version *ego-centrée* de la satisfaction est indifféremment appelée *satisfaction ego-centrée* ou *score*, comme cela a déjà était introduit au *chapitre IV*. La version sociale sera simplement appelée *satisfaction*. La *satisfaction cumulée* correspond à la somme des *satisfactions ego-centrées* de l'ensemble des acteurs.

Satisfaction d'acteur(s)	Portée individuelle		Portée sociétale
	Elémentaire	Relations contrôlées	Somme
Niveau ego-centré (enjeu + effet)	Satisfaction ego-centrés	Satisfaction ego-centré propre	Satisfaction ego-centré cumulée
Niveau socio-centré (enjeu + effet + solidarité)	Satisfaction	Satisfaction propre	Satisfaction cumulée

Tableau 14 - Différents indicateurs de la satisfaction.

Niveau ego-centré	Satisfaction ego-centrée	$satisfaction_{ego-centrée}(a, e_R) = \sum_{r \in R} impact_{ego-centrée}(r, a, e_r)$
	Satisfaction ego-centrée propre	$satisfaction_{ego-centrée\ propre}(a, e_R) = \sum_{r \in R, a\ contrôle\ r} impact_{ego-centrée}(r, a, e_r)$
	Satisfaction ego-centré cumulée	$satisfaction_{ego-centrée\ cumulée}(e_R) = \sum_{a \in A} satisfaction_{ego-centrée}(a, e_R)$
Niveau socio-centré	Satisfaction	$satisfaction(a, e_R) = \sum_{r \in R} impact(r, a, e_r)$
	Satisfaction propre	$satisfaction_{propre}(a, e_R) = \sum_{r \in R, a\ contrôle\ r} impact(r, a, e_r)$
	Satisfaction cumulée	$satisfaction_{cumulée}(e_R) = \sum_{a \in A} satisfaction(a, e_R)$

Tableau 15 - Formules mathématiques des indicateurs de satisfaction.

3.2 Pouvoir

La notion de pouvoir, telle que nous allons la définir ici, est plus une mesure du pouvoir exercé qu'une mesure du pouvoir potentiel que détiendrait un acteur. Une telle mesure, telle qu'elle est développée à la section *pouvoir structurel* (section 4.3), correspond à un pouvoir que l'on détient, c'est le pouvoir en tant que capital. Or la thèse de Crozier et de Friedberg est que, au contraire, le pouvoir n'est pas quelque chose qui se possède, mais est un processus : il s'exerce dans « *une relation déséquilibré d'échanges de comportements* ».

Ce que l'on propose alors de mesurer ici est, à un instant ou à l'issue de ce processus, ce qu'un acteur a pu apporter ou retirer à d'autres acteurs en terme de capacité d'action, c'est-à-dire la part de satisfaction à laquelle il a contribué positivement ou négativement envers un ou plusieurs autres acteurs. Si nous prenons la définition²¹ de Robert Dahl, citée dans [Friedberg, 1993] : « *A exerce un pouvoir sur B dans la mesure où il obtient de B une action Y que ce dernier n'aurait pas effectué autrement* », alors l'indicateur de *pouvoir* que nous proposons renvoie à la mesure des moyens mise en œuvre par A pour que B exerce Y (sans garantie de réussite). Dans cette perspective :

- une contribution positive de A à la satisfaction de B peut s'interpréter comme :
 - un don obligeant B à la réciprocité (vers l'action Y),
 - un contre-don permettant de s'acquitter d'une dette contractée par A envers B,
 - le fait de céder à une pression exercée par B,
 - une opportunité due aux transactions de A avec d'autres acteurs et qui profite à B.
- une contribution négative de A à la satisfaction de B peut s'interpréter comme :
 - un moyen coercitif pour orienter B vers l'action Y,
 - la réponse à une pression de B,
 - la réaction à la non réciprocité de B dans ses échanges avec A,
 - un aléa due aux transactions de A avec d'autres acteurs et qui pénalise B.

21 Cette définition du pouvoir est toutefois ambiguë, et nous y reviendrons à la section 3.3.

On peut alors mesurer le pouvoir (*élémentaire*) d'un acteur *ego* sur un acteur *alter*, comme la somme des valeurs absolues des impacts, positifs ou négatifs, que les relations qu'il contrôle ont sur B.

Pouvoir d'un acteur (sur un autre)	Portée dyadique		Portée sociétale
	Elémentaire	Différence	Somme
Niveau ego-centré	Pouvoir ego-centré	Pouvoir ego-centré relatif	Pouvoir ego-centré cumulé
Niveau socio-centré	Pouvoir	Pouvoir relatif	Pouvoir cumulé

Tableau 16 - Différents indicateurs du pouvoir.

Niveau ego-centré	Pouvoir ego-centré	$pouvoir_{ego-centré}(ego, alter, e_R) = \sum_{r \in R, ego \text{ contrôle } r} impact_{ego-centré}(r, alter, e_r) $
	Pouvoir ego-centré relatif	$pouvoir_{ego-centré \text{ relatif}}(ego, alter, e_R) = pouvoir_{ego-centré}(ego, alter, e_R) - pouvoir_{ego-centré}(alter, ego, e_R)$
	Pouvoir ego-centré cumulé	$pouvoir_{ego-centré \text{ cumulé}}(ego, e_R) = \sum_{alter \in A, alter \neq ego} pouvoir_{ego-centré}(ego, alter, e_R)$
Niveau socio-centré	Pouvoir	$pouvoir(ego, alter, e_R) = \sum_{r \in R, ego \text{ contrôle } r} impact(r, alter, e_r) $
	Pouvoir relatif	$pouvoir_{relatif}(ego, alter, e_R) = pouvoir(ego, alter, e_R) - pouvoir(alter, ego, e_R)$
	Pouvoir cumulé	$pouvoir_{cumulé}(ego, e_R) = \sum_{alter \in A, alter \neq ego} pouvoir(ego, alter, e_R)$

Tableau 17 - Formules mathématiques des indicateurs du pouvoir.

Les versions *ego-centrées* du pouvoir (Tableau 16), renvoient à la contribution de *ego* à la *satisfaction ego-centrée* de *alter*. Le calcul (Tableau 17) mobilise alors l'*impact ego-centré*. Les versions *socio-centrées* se réfèrent, par contre, à la *satisfaction*, et le calcul mobilise l'*impact*.

Un indicateur intéressant, est alors la différence de pouvoir entre *ego* et *alter* : le *pouvoir relatif* de *ego* sur *alter*. Cet indicateur permet de rendre compte de celui qui au sein d'une dyade à mis en œuvre le plus de moyen pour orienter le comportement de l'autre. L'indicateur peut toutefois être trompeur dans la mesure où cette situation résulte également de transactions avec d'autres acteurs.

Enfin, le *pouvoir cumulé* d'un acteur renvoie aux moyens mis en œuvre auprès des autres acteurs pour qu'il obtienne d'eux un comportement facilitant l'accès à ses objectifs.

Dans l'exemple du cas Trouville (Figure IV.2), si l'on analyse les pouvoirs des acteurs pour l'état de somme maximale des satisfactions, on se rend compte que la secrétaire dispose d'un pouvoir plus important sur le directeur que celui-ci n'en a sur elle. Si cet état était atteint au cours d'une simulation alors le directeur disposerait d'une satisfaction assez importante (40), proche de son maximum (50).

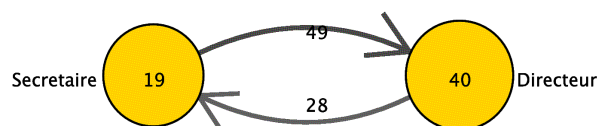


Figure IV.2 - Pouvoir (arcs) et satisfaction (nœuds) des acteurs dans l'état de somme maximale des satisfaction du cas Trouville.

Les simulations effectuées (Figure IV.3) révèlent pourtant que cet état n'est jamais atteint. La cause en est que partant d'une situation neutre pour les deux acteurs, ceux-ci procèdent à une série de transactions assez équilibrées de type dilemme du prisonnier, où chacun gagne plus à donner à l'autre si l'autre en fait autant. La secrétaire atteignant sa satisfaction maximale avant le directeur, la structure de jeu type dilemme du prisonnier est brisée, car le directeur n'a plus rien à offrir. La coopération mutuelle n'est alors plus la meilleure stratégie, et il n'est alors plus intéressant pour la secrétaire de mobiliser son pouvoir à l'avantage du directeur. Les deux acteurs, sous l'impulsion première de la secrétaire changent donc leurs stratégies et le jeu se stabilise dans une situation assez favorable pour les deux parties.

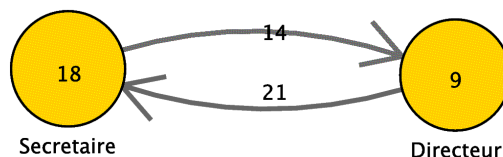


Figure IV.3 - Pouvoir (arcs) et satisfaction (nœuds) des acteurs dans l'état moyen \neq convergence de 20 simulations.

Cet exemple est assez instructif sur les précautions à prendre au niveau de l'interprétation des résultats de simulation. Nous constatons (Figure IV.3) d'une part que la secrétaire exerce moins de pouvoir que le directeur, or celle-ci a stratégiquement mieux géré ses transactions. Cette mesure du pouvoir ne peut rendre compte de l'aspect stratégique du pouvoir que postule Friedberg par : « le pouvoir de A sur B correspond \neq la capacité de A d'obtenir que dans sa négociation avec B, les termes de l'échange lui soient favorables ». Le problème de la mesure du pouvoir que nous mobilisons est qu'elle ne peut avoir de valeur que comparée à ce que les acteurs peuvent donner au plus (pouvoir maximum) et à ce qu'il peuvent obtenir au plus (satisfaction maximum). La figure Figure IV.4 montre le pouvoir des acteurs dans les cas extrêmes. Le pouvoir de la secrétaire est en fait plus élevé en potentiel (voir l'indicateur de *pouvoir structurel maximal* en section 80) que celui du directeur. C'est parce que l'exercice de peu de pouvoir lui suffit à atteindre une forte satisfaction, comparée à son maximum, qu'il n'y a aucune utilité pour elle d'en mobiliser plus.

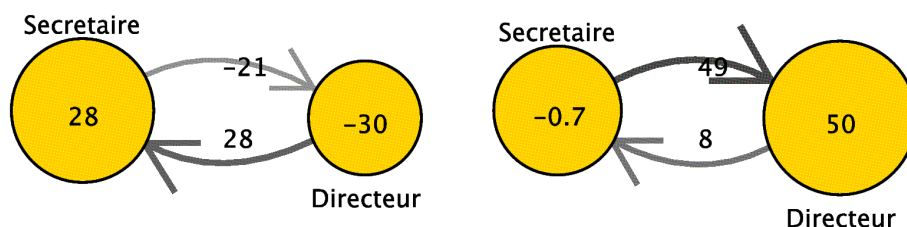


Figure IV.4 - Pouvoir (arcs) et satisfaction (nœuds) des acteurs dans l'état de satisfaction maximale de la secrétaire (\neq gauche) et du directeur (\neq droite).

Ce que l'on mesure par les indicateurs in-situ du pouvoir est donc l'exercice du pouvoir. Nous pouvons le mettre en perspective avec le pouvoir maximum d'un acteur, qui est une forme de pouvoir-capital dont se détache la proposition de pouvoir relationnel de Friedberg, et les satisfactions des acteurs qui au final ne renseignent pas sur la qualité du jeu stratégique d'un

acteur ni sur l'origine de ce qui est attribué : est-ce que l'acteur profite par hasard du jeu d'un autre ou bien sont-ce ses manœuvres qui lui ont permis de profiter au mieux des transactions auxquelles il participe ?

Partant des critiques sur l'ambiguïté des définitions du pouvoir que propose la SAO nous allons maintenant présenter des indicateurs prenant en compte l'aspect stratégiques des transactions entre acteurs.

3.3 Concession et avantage transactionnel

Dans cette section nous mettons tout d'abord en avant les ambiguïtés concernant les définitions du pouvoir sur lesquelles se basent la SAO afin de démontrer l'impossibilité de produire directement des indicateurs rendant compte du pouvoir dans sa dimension stratégique. Nous discutons alors des ambiguïtés d'interprétation qu'induisent ces définitions et proposons un indicateur rendant compte de la stratégie d'un acteur dans les transactions qu'il mène avec un autre acteur ou avec l'ensemble des membres du SAC. Cet indicateur, l'*avantage transactionnel*, est fondé sur la notion de concession, c'est-à-dire ce qu'un acteur concède comme part de satisfaction en adoptant sa stratégie par rapport à ce que lui apporterait l'adoption d'une stratégie égoïste maximisant ses gains sur les relations qu'il contrôle.

Le pouvoir tel que le définit Crozier et Friedberg s'exprime avant tout au sein d'une dyade : *« le pouvoir de A sur B correspond à la capacité de A d'obtenir que dans sa négociation avec B, les termes de l'échange lui soient favorables »*. Cette définition se base, du moins pour sa dimension stratégique, sur celle de Robert Dahl : *« A exerce un pouvoir sur B dans la mesure où il obtient de B une action Y que ce dernier n'aurait pas effectué autrement »*. Le problème déjà évoqué à la section précédente est que, dans une vision complexe de la relation, où celle-ci se trouve encadrée dans un système relationnel, il est difficile de juger si une action Y entreprise par B est uniquement due à l'exercice du pouvoir de A. Il est possible d'éluder le problème de la qualité de la stratégie en ne considérant que l'issue de l'exercice du pouvoir. C'est ce que nous avons fait avec les indicateurs de pouvoir de la section précédente, voire avec les indicateurs de satisfaction. C'est ce que font également Crozier et Friedberg lorsqu'ils postulent que le pouvoir est le *« résultat contingent de transactions entre plusieurs individus »*.

Que ce soit pour Dahl ou Friedberg, on se rend bien compte de la difficulté à saisir le pouvoir dans toute sa complexité lorsqu'il s'agit de le mesurer. Celui-ci est soit défini dans le cadre d'une dyade qui ne tient pas compte de l'encastrement des relations et l'on est obligé d'abandonner l'aspect stratégique du pouvoir ; soit il est défini comme un résultat, un état du monde, et l'on est obligé de mettre de côté l'aspect transactionnel du pouvoir.

A travers cette problématique nous n'entendons pas réduire la réflexion de Crozier et Friedberg sur le pouvoir à une définition décontextualisée. Nous tenons simplement à rappeler la valeur de celle que nous proposons. Ce que nous définissons comme le « pouvoir » n'est qu'une mesure qui ne peut se saisir du Pouvoir à proprement parlé, car celui-ci ne peut se mesurer dans toute son étendue. Mais comme pour les définitions simplificatrices de Dahl ou de Friedberg, une vertu de cette mesure est de susciter et d'orienter l'interrogation afin de mieux découvrir le contexte dans lequel s'exerce le Pouvoir.

Nous souhaitons proposer une définition du pouvoir plus souple, qui casse quelque peu l'aspect dyadique des précédentes définitions, en retenant l'aspect plurivalent plutôt que univalent des sources d'influences conduisant à un changement de comportement. On dira alors que :

A exerce un pouvoir sur B dans la mesure de l'influence qu'il a sur la capacité d'action de B, celle-ci orientant B vers une action Y qu'il n'aurait pas effectué autrement.

Une fois le problème du pouvoir dyadique contourné par cet effort de précision sémantique, qui par ailleurs va nous servir par la suite, il reste à aborder le problème de l'évaluation de la qualité de la stratégie au sein des transactions. En effet selon notre définition, rien n'indique que l'acteur B perçoit l'influence de A, et rien n'indique non plus que l'action Y de B n'est pas une réaction à l'influence d'un autre acteur C. Partant de là nous postulons que :

1. Le pouvoir d'un acteur sur un autre ne peut être mesuré dans sa dimension stratégique, c'est-à-dire entendu comme l'expression d'une intentionnalité (sauf à entrer dans la tête des acteurs).

2. Reprenant le postulat de Friedberg sur l'utilitarisme méthodologique, on supposera que les acteurs agissent toujours de façon rationnelle et intentionnelle. Ce postulat nous permet alors d'entrevoir une mesure de la qualité de la négociation d'un acteur au sein d'une dyade.

3. La qualité de négociation d'un acteur s'exprime mieux dans un rapport systémique que dans un rapport dyadique. Le précédent point s'arrangeant des sources d'influences extérieures à la dyade, on préférera disposer d'une mesure systémique de la qualité de la négociation d'un acteur

3.3.1 Concession

Par le postulat 2, on suppose que le comportement de l'acteur, isolé au sein d'une dyade, peut s'exprimer comme un comportement stratégique rationnel que l'on peut expliquer uniquement en regard des comportements de l'autre acteur de la dyade. Il nous est alors paru assez probant de mesurer la qualité du comportement de l'acteur en comparant la part de satisfaction qu'il s'attribue de par son comportement effectif et celle qu'aurait perçu un acteur rationnel individualiste. Soit un acteur *ego* participant à un ensemble de relations au sein d'une dyade composée également d'un acteur *alter*, on appellera alors *concession* de *ego* pour *alter* la part de satisfaction qu'il perd sur les relations qu'il contrôle par rapport à ce qu'il aurait gagné en adoptant une stratégie individualiste lui garantissant un minimum de perte, c'est-à-dire en jouant l'équilibre de Nash [Nash, 1951] ou le *minimax* [von Neumann, 1928]. En jouant le *minimax* l'acteur va maximiser l'impact qu'ont sur lui les relations qu'il contrôle. Ce concept est certes autant inadapté au jeu coopératif que le jeu égoïste qu'implique la recherche de l'équilibre de Nash, mais rappelons qu'il s'agit ici de mesurer une stratégie et non d'en choisir une. Le principe de l'indicateur de *concession* est donc de mesurer ce que l'acteur concède au bénéfice ou au dépend d'un autre acteur par rapport à ce qu'il était en mesure de s'octroyer en toute certitude.

Le calcul de la *concession (élémentaire)* consiste en la somme de la différence entre l'impact effectif et l'*impact maximum certain* pour chaque relation que *ego* contrôle et dont *alter* dépend (Tableau 19). L'*impact maximum certain* d'une relation *r* renvoie l'impact maximum que le contrôleur de *r* peut s'allouer, en vue de maximiser sa satisfaction, et dans la mesure où *r* est contrainte, ou non, par une autre relation, et le cas échéant s'il contrôle également cette relation :

$$\text{impact}_{\text{maximum certain}}(r) = \left\{ \begin{array}{l} a \leftarrow \text{controleur}(r) \\ \text{si } (r \in R_{\text{contraignantes}}) \text{ et } (a \text{ controle } r' \text{ tel que } r \text{ contraint } r') \text{ alors} \\ \quad e' \leftarrow \text{argmax}_{e_r', e_r} (e_r) (\text{impact}(r, a, e_r) + \text{impact}(r', a, e_r')) \\ \quad \text{renvoyer } \text{impact}(r, a, e') \\ \text{si } r \notin R_{\text{contraintes}} \\ \quad \text{alors renvoyer } \max_{e_r \in C_r} \text{impact}(r, a, e_r) \\ \text{si } r \in R_{\text{contraintes}} \\ \quad \text{si } (a \text{ controle } \bullet r) \text{ alors} \\ \quad \quad e' \leftarrow \text{argmax}_{e_r, e_{\bullet r}} (e_r) (\text{impact}(\bullet r, a, e_{\bullet r}) + \text{impact}(r, a, e_r)) \\ \quad \quad \text{renvoyer } \text{impact}(r, a, e') \\ \quad \text{sinon renvoyer } \min_{e_{\bullet r}} (\max_{e_r \in C_r(e_{\bullet r})} (\text{impact}(r, a, e_r))) \end{array} \right.$$

On peut alors comparer au sein d'une dyade ce que deux acteurs ont mutuellement effectué comme concession en procédant à la différence de *concession* de chacun pour l'autre (Tableau 19), on parlera alors de *concession relative* (Tableau 18). On notera que cet indicateur est en quelque sorte le dual de l'indicateur de *pouvoir relatif*. Le *pouvoir relatif* est fondé sur la différence de dons alors que la *concession relative* se fonde sur la différence de pertes. Le premier indicateur permet d'éclairer des logiques du pouvoir de type don/contre don – celui qui a le pouvoir est celui qui donne le plus et procède ainsi à la création d'une dette qui prendra toute sa mesure avec le temps, tandis que le second éclaire les logiques de calculs coût/avantage.

Toujours en ce qui concerne la concession, il est possible de mesurer ce qu'un acteur *ego* concède globalement au sein du système. Il ne s'agit pas ici, comme nous l'avons fait pour les autres indicateurs, d'effectuer une somme des *concessions* de *ego* pour chacun des autres acteurs, ce serait oublier les leçons tirées de la définition du pouvoir que nous avons proposée : nous l'appellerons *concession globale*. Le calcul de la *concession globale* d'un acteur est constituée de la même somme que pour la concession de *ego* sur *alter*, mais appliquée à l'ensemble des relations que contrôle ego. Ce qui, une fois la formule simplifiée, correspond à la différence entre la *satisfaction propre* de *ego*, et la somme des *impacts maximum certains* des relations contrôlées, qui en fait correspond à la définition de l'autonomie que nous donnons en section 4.2 :

$$\begin{aligned}
& \text{concession}(ego, e_R) \\
&= \sum_{r \in R, \text{ego contrôle } r} \text{impact}(r, ego, e_r) - \\
& \quad \sum_{r \in R, \text{ego contrôle } r} \text{impact}_{\text{maximum certain}}(r) \\
&= \text{satisfaction}_{\text{propre}}(ego, e_R) - \text{autonomie}(ego)
\end{aligned}$$

Concession d'un acteur (sur un autre)	Portée dyadique		Portée sociétale
	Elémentaire	Différence	Somme ($r \in R$)
Niveau socio-centré	Concession	Concession relative	Concession globale

Tableau 18 - Différents indicateurs de la concession.

Niveau socio-centré	Concession	$concession(ego, alter, e_R) = \frac{\sum_{r \in R, ego \text{ contrôle } r, alter \text{ dépend } r} impact(r, ego, e_r) - \sum_{r \in R, ego \text{ contrôle } r, alter \text{ dépend } r} impact_{maximum \text{ certain}}(r, ego)}{\sum_{r \in R, ego \text{ contrôle } r, alter \text{ dépend } r} impact_{maximum \text{ certain}}(r, ego)}$
	Concession relative	$concession_{relative}(ego, alter, e_R) = \frac{concession(ego, alter, e_R) - concession(alter, ego, e_R)}{concession(ego, alter, e_R) + concession(alter, ego, e_R)}$
	Concession globale	$concession_{globale}(ego, e_R) = satisfaction_{propre}(ego, e_R) - autonomie(ego)$

Tableau 19 - Formules mathématiques des indicateurs de concession.

3.3.2 Avantage transactionnel

A partir de la notion de concession il est alors possible de proposer une mesure de la qualité de négociation de *ego* dans ces transactions avec *alter* en comptabilisant la différence de ce que *alter* met au profit de *ego* à ses dépend moins ce que *ego* sacrifie au profit de *alter*, ainsi qu'en ôtant le minimum que *alter* est de toute façon obligé de donner à *ego*. On obtient ainsi une mesure stratégique de l'exercice du pouvoir d'un acteur que l'on nomme *avantage transactionnel*. La version dyadique est donnée comme suit :

$$\begin{aligned}
 avantage_{trans}(ego, alter, e_R) = & \text{pouvoir}(alter, ego, e_R) \\
 & - \min_{e_R}(\text{pouvoir}(alter, ego, e_R)) \\
 & - concession(ego, alter, e_R)
 \end{aligned}$$

Cette définition souffre des mêmes insuffisances que les indicateurs dyadiques du pouvoir et on lui préférera la version systémique, l'*avantage transactionnel global*, fondée sur la *concession globale* :

$$\begin{aligned}
 avantage_{trans_global}(ego, e_R) = & (\sum_{alter \in A, alter \neq ego} \text{pouvoir}(alter, ego, e_R)) \\
 & - concession_{cumulée}(ego, e_R)
 \end{aligned}$$

4 Indicateurs *ex situ* (ou purement structurels)

Les indicateurs *ex situ* sont déterminés uniquement à partir de la structure du système sans tenir compte d'un quelconque état de celui-ci. La valeur sociologique qu'on leur accordera sera de l'ordre du potentiel qu'induit la structure de l'organisation.

4.1 Indicateurs relatifs aux relations

4.1.1 Pertinence d'une relation

La pertinence d'une relation est une évaluation de l'importance de celle-ci compte tenu des enjeux que les acteurs placent dessus. La formule pour une relation r est donnée par la somme pour chaque acteur ego de l'enjeu qu'il fixe pour r , pondérée par la somme des solidarités que chaque acteur $alter$ accorde à ego . L'évaluation tient ainsi compte de la distribution des solidarités des acteurs :

$$pertinence(r) = \sum_{ego \in A} enjeu(r, ego) \times \sum_{alter \in A} |solidarité(alter, ego)|$$

Sociologiquement parlant il s'agit de mesurer et donc de repérer les ressources les plus pertinentes au sein du SAC par rapport aux objectifs des acteurs. Ainsi plus les acteurs ont des enjeux forts pour une relation et plus celle-ci sera centrale dans les négociations de comportements. Elle le sera d'autant plus si les acteurs ayant un fort enjeu mobilisent une forte attention (solidarité positive ou négative) de la part des autres acteurs du système.

Une fois les relations les plus pertinentes déterminées pour un SAC donné, il est possible d'émettre l'hypothèse que les acteurs qui les contrôlent auront une influence certaine sur la satisfaction des autres acteurs, et disposeront donc d'un argument de poids dans les négociations avec ceux-ci.

La pertinence d'une relation est uniquement fonction des paramètres déterminant l'objectif des acteurs, c'est-à-dire leurs enjeux et leurs solidarités. L'indicateur ne tient pas compte de l'impact concret ou potentiel que la relation peut avoir sur les satisfactions. Ainsi un cas limite, parmi d'autre, de l'utilisation de cet indicateur est celui d'une ressource très pertinente dont l'*effet* est très faible pour les acteurs qui en dépendent. C'est pourquoi pour compléter cet indicateur nous proposons une mesure de la *force* d'une relation.

4.1.2 Force de la relation

La *force* est un indicateur déterminant l'importance potentielle d'une relation sur la satisfaction d'un acteur. Il s'agit alors de mesurer l'amplitude maximale dans laquelle (l'état de) la relation peut affecter la *satisfaction* de l'acteur. Comme pour l'*impact*, dont la *force* est la version *ex situ*, on mobilisera un indicateur *ego-centré* (Tableau 20) si l'on s'intéresse à la *satisfaction ego-centrée* de l'acteur, et un indicateur *socio-centrée* (Tableau 20) quand on s'intéresse à la *satisfaction*, c'est à dire suivant que l'on intègre, ou non, le poids des *solidarités* dans le calcul (Tableau 21).

En terme sociologique, la *force* d'une relation sur un acteur *alter*, peut s'interpréter comme un argument de négociation (une promesse ou une menace d'adopter une posture plus ou moins favorable pour *alter*) que le *contrôleur* de la relation peut faire peser sur *alter*.

A partir de la version *élémentaire* de la *force*, il est possible de s'intéresser à une version de *portée sociétale* (Tableau 20), qui exprimera alors l'importance de la relation observée sur la satisfaction de tous les acteurs du SAC :

– La *force cumulée* d'une relation est calculée en sommant la *force* de la relation sur chacun des acteurs (Tableau 21). C'est la version optimiste puisqu'elle considère le possible cumul des arguments de négociations que le *contrôleur* de la relation pourra mettre en œuvre auprès des autres acteurs. Dans les faits il y a peu de cas où le jeu du contrôleur sur la relation aura l'effet escompté sur toutes les parties avec lesquelles il négocie.

– La *force maximale* est calculée à partir du maximum (Tableau 21), au lieu de la somme. C'est la version pessimiste (ou au plus juste). Elle envisage le meilleur argument de négociation du *contrôleur* de la relation comme représentatif de l'importance de celle-ci.

Pour chacune de ces deux formulations, l'amplitude maximum de solde doit se calculer en tenant compte des bornes b_{min} et b_{max} fixant la marge de manœuvre du contrôleur sur la relation. Or, la marge de manœuvre des relations contraintes pouvant être variables, il nous faut alors connaître l'amplitude maximale pour pouvoir calculer la force. Pour chaque relation r , on définit alors $Cmax_r$ tel que :

$$Cmax_r = \begin{cases} \text{si } r \in R_{contraintes} & \text{alors } [\min_{e_r} \text{constraint_bmin}(e_r); \max_{e_r} \text{constraint_bmax}(e_r)] \\ \text{sinon} & C_r \end{cases}.$$

Force d'une relation	Portée individuelle	Portée sociétale	
	Élémentaire	Cumul sur Acteur	Max sur Acteur
Niveau ego-centré (effet + enjeux)	Force ego-centrée	Force ego-centrée cumulée	Force ego-centrée max
Niveau socio-centré (effet + enjeux + solidarités)	Force	Force cumulée	Force maximale

Tableau 20 - Les différents indicateurs de force d'une relation.

Niveau ego-centré	Force ego-centrée	$force_{ego-centrée}(r, a) = force_{objectifée}(r, a) \cdot enjeu(r, a)$
	Force ego-centrée cumulée	$force_{ego-centrée \text{ cumulée}}(r) = \sum_{a \in A} force_{ego-centrée}(r, a)$
	Force ego-centrée maximale	$force_{ego-centrée \text{ max}}(r) = \max_{a \in A} force_{ego-centrée}(r, a)$
Niveau socio-centré	Force	$force(r, ego) = \sum_{alter \in A} solidarité(ego, alter) \cdot force_{ego-centrée}(r, alter)$
	Force cumulée	$force_{cumulée}(r) = \sum_{a \in A} force(r, a)$
	Force maximale	$force_{max}(r) = \max_{a \in A} force(r, a)$

Tableau 21 - Formules mathématiques des indicateurs de force.

4.2 Indicateurs relatifs aux acteurs

L'autonomie des acteurs est définie par Crozier et Friedberg comme la capacité d'agir, en toute circonstance, dont ils disposent et qu'ils mettent en œuvre dans les processus d'échanges asymétriques que sont les relations de pouvoir.

4.2.1 Autonomie et dépendance simples (basées sur les enjeux)

L'action des acteurs étant médiatisée par les relations qu'ils contrôlent, nous proposons donc de définir une mesure de l'autonomie de *ego* par la somme des enjeux sur les relations qu'ils contrôlent, normalisée par le total d'enjeux :

$$autonomie_1(a) = \frac{\sum_{r \in R, a \text{ contrôle } r} enjeu(r, a)}{\sum_{r \in R} enjeu(r, a)}$$

Cette mesure reflète la capacité relative d'*ego* à pouvoir atteindre tout ou partie de ses objectifs par lui-même. En tant que concept de nature relative, l'autonomie trouve son complément dans ce qui définit la dépendance d'un acteur. Un acteur est forcément lié aux autres acteurs, en ce sens que son action s'inscrit toujours dans un processus coopératif pour atteindre ses objectifs. Ainsi s'il dispose d'une partie des ressources nécessaires à satisfaire au mieux ses visées, celles qui fondent son autonomie, c'est bien avec les autres acteurs qu'il devra négocier l'accès aux ressources complémentaires dont il a besoin, celles dont il dépend.

Nous définissons alors la *dépendance* d'un acteur comme la somme des enjeux qu'il a placé sur des relations qu'il ne contrôle pas (normalisée par le total d'enjeux):

$$dépendance_1(a) = \frac{\sum_{r \in R, (a, r) \notin \text{contrôle}} enjeu(r, a)}{\sum_{r \in R} enjeu(r, a)} = 1 - autonomie_1(a)$$

4.2.2 Autonomie et dépendance

Bien que simples à formuler et aisées à comprendre, ces mesures de l'autonomie et de la dépendance souffrent toutefois d'un défaut. Elles ne tiennent en effet pas compte de la part de capacité d'action qu'un acteur peut s'attribuer par les relations qu'il contrôle. On peut alors définir l'autonomie de *ego* comme la somme, pour chaque relation qu'il contrôle, des impacts maximum qu'il est certain de pouvoir s'attribuer :

$$autonomie(ego) = \sum_{r \in R, ego \text{ contrôle } r} impact_{\text{maximum certain}}(r)$$

La dépendance est alors donnée par la différence entre la satisfaction maximum de *ego* et son autonomie :

$$dépendance(ego) = satisfaction_{\text{max}}(ego) - autonomie(ego)$$

4.3 Pouvoir structurel

Nous proposons ici plusieurs indicateurs *ex-situ* qui caractérisent le pouvoir d'un acteur pour une structure de jeu donné, il s'agit donc ici de mesurer la capacité potentielle d'un acteur à influencer la capacité d'action (la satisfaction) d'un ou plusieurs acteurs. Le pouvoir peut se mesurer dans une relation dyadique : on parlera alors du pouvoir d'un acteur *ego* sur un acteur *alter*, ou dans une relation systémique : on parlera alors du pouvoir d'un acteur.

Pouvoir structurel d'un acteur (sur un autre)	Portée dyadique		Portée sociétale	
	Élémentaire	relatif	somme	maximum
Niveau ego-centré (effet + enjeux)	Pouvoir structurel ego-centré	Pouvoir structurel ego-centré	Pouvoir structurel ego-centré cumulé	Pouvoir structurel ego-centré maximum
Niveau socio-centré (effet + enjeux + solidarités)	Pouvoir structurel	Pouvoir structurel relatif	Pouvoir structurel cumulé	Pouvoir structurel maximum

Tableau 22 - Les différents indicateurs du pouvoir structurel d'un acteur

Niveau ego-centré	Portée dyadique	Pouvoir structurel ego-centré	$pouvoir\ structurel\ ego-centré(ego, alter) = \sum_{r \in R, ego\ contrôle\ r} force_{ego-centrée}(r, alter)$
		Pouvoir structurel ego-centré relatif	$pouvoir\ structurel\ ego-centré\ relatif(ego, alter) = pouvoir\ structurel_{ego-centré}(ego, alter) - pouvoir\ structurel_{ego-centré}(alter, ego)$
	Portée sociétale	Pouvoir structurel ego-centré cumulé	$pouvoir\ structurel\ ego-centré\ cumulé(ego) = \sum_{alter \in A, alter \neq ego} pouvoir\ structurel_{ego-centré}(ego, alter)$
		Pouvoir structurel ego-centré maximum	$pouvoir\ structurel\ ego-centré\ maximum(ego) = \max_{alter \in A, alter \neq ego} pouvoir\ structurel_{ego-centré}(ego, alter)$
Niveau socio-centré	Portée dyadique	Pouvoir structurel	$pouvoir\ structurel(ego, alter) = \sum_{r \in R, ego\ contrôle\ r} force(r, alter)$
		Pouvoir structurel relatif	$pouvoir\ structurel\ relatif(ego, alter) = pouvoir\ structurel(ego, alter) - pouvoir\ structurel(alter, ego)$
	Portée sociétale	Pouvoir structurel cumulé	$pouvoir\ structurel\ cumulé(ego) = \sum_{alter \in A, alter \neq ego} pouvoir\ structurel(ego, alter)$
		Pouvoir structurel maximum	$pouvoir\ structurel\ maximum(ego) = \max_{alter \in A, alter \neq ego} pouvoir\ structurel(ego, alter)$

Tableau 23 - Les différents calcul du pouvoir structurel d'un acteur

Dans une dyade, la base du pouvoir d'un acteur *ego* sur un acteur *alter* est fonction de la *force*, du point de vue d'*alter*, des relations qu'il contrôle. Ainsi plus *ego* contrôlera de relations dont la force a une influence élevée sur la capacité à agir d'*alter*, plus celui-ci pourrait s'en voir imputer ou augmenter dans ses transactions avec *ego*. Ceci dépendant bien sûr de la réciproque,

pouvant être mise en jeu ou non par *alter*, à savoir le pouvoir d'alter sur ego. Cette différence de pouvoir entre deux acteurs est dénoté par le *pouvoir relatif*. Cette mesure caractérise l'asymétrie d'une relation de pouvoir telle que la définissent Crozier et Friedberg.

Au niveau du système, le pouvoir d'un acteur s'exprimera en fonction du pouvoir dont il dispose sur chaque autre acteur. Ce calcul pourra s'effectuer sur la base de la somme – *pouvoir cumulé*, ou du maximum – *pouvoir maximum*.

Par ailleurs comme pour la force, le pouvoir peut s'exprimer uniquement en fonction d'une base individuelle : qui ne considère que les objectifs propres de l'acteur, ou, de plus, sur une base sociale incluant les solidarités de l'acteur pour les autres.

Le tableau Tableau 22 reprend les différents indicateurs du pouvoir structurel d'un acteur en fonction de ses différentes caractéristiques : dyadique (de base, relatif), systémique (cumulé ou maximum), subjectif ou social. Le tableau Tableau 23 reprend les formules correspondant à chaque indicateur du pouvoir structurel.

Ces mesures purement structurelles trouvent leurs limites en ce qu'elles ne tiennent pas compte des transactions effectives et des interactions entre les relations (3.1) et les acteurs (3.2). Par exemple, il peut être structurellement impossible pour un acteur de maximiser l'ensemble de ses transactions alors que chacune peut l'être, mais exclusivement ; il devra alors choisir de favoriser l'un ou l'autre de ses partenaires.

Un caractère fort intéressant de ces mesures et de leur imprécision, est qu'elles présentent une forme d'argument de transaction, une évaluation que tout un chacun emploie, que l'autre estime, ou croit, sur le pouvoir des parties prenantes et l'issue des transactions. Ainsi un acteur peut soumettre à chacun de ses partenaires ou adversaires le *pouvoir* qu'il a sur chacun d'eux. Cet argument pourra prendre la forme d'une menace ou d'une promesse. S'il est d'importance, il pourra être mis en balance à son avantage dans autant de transactions où le contre-argumentaire est plus faible. On trouve ainsi des situations organisationnelles où, paradoxalement, un acteur disposant d'un pouvoir fort domine un jeu où les autres acteurs disposent d'un contre pouvoir cumulé équivalent ou supérieur. Ce type de situation peut s'expliquer par le coût de coordination [Williamson, 2000] qu'entraînerait une contre-attaque collective. On peut également trouver des causes psychologiques : rationalité limitée des acteurs [Simon, 1969], capacité d'anticipation et aversion à la perte [Kahneman & Tvesky, 1979].

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un ensemble conséquent de mesures qui sont autant d'indicateurs permettant d'interpréter un modèle de SAC, et les simulations qui en découlent. Nous avons proposé deux catégories d'indicateurs suivant qu'ils dépendent (*in situ*) ou non (*ex situ*) d'un état donné du système, distinguant ainsi ce qui est de l'ordre du potentiel de ce qui est de l'ordre de l'effectif.

Les indicateurs reposent sur les notions d'*acteur*, de *relation*, de *contrôle*, d'*enjeu*, d'*effet* et de *solidarité*, développés dans le méta-modèle (Chapitre III). Ils permettent de caractériser relation, acteurs, dyades, et SAC. La majorité de ces indicateurs s'expriment essentiellement dans l'*espace des capacités d'action*, c'est à dire que ce qui est mesuré est toujours de l'ordre de l'action, exprimant le rapport entre l'action désirée (pour atteindre des objectifs) et l'action accessible (par la mise à disposition des ressources nécessaires).

Nous avons par ailleurs distingué :

- les indicateurs *ego-centrés* qui portent uniquement sur les objectifs de l'acteur concerné et se calculent par la combinaison des *enjeux* sur les relations dont il dépend avec l'*effet* qu'ont pour lui ces relations en termes de capacité d'action, et
- les indicateurs *socio-centrés* qui portent en plus sur les objectifs des autres acteurs dans la mesure des *solidarités* positives ou négatives que l'acteur concerné a pour eux.

La grande originalité de ce chapitre est de proposer quatre grandes catégories d'indicateurs *in situ* permettant de se saisir de différentes facettes du Pouvoir dans ses dimensions relationnelle, transactionnelle et systémique :

- *satisfaction* : ce qu'un acteur retire de ses transactions,
- *pouvoir* : ce qu'un acteur apporte/retire aux autres acteurs en terme de capacité d'action,
- *concession* : ce qu'un acteur perd dans ses transactions par rapport à l'adoption d'un jeu minimisant ses pertes,
- *avantage transactionnel* : le bilan entre ce qu'un acteur concède et le pouvoir mobilisé a son avantage.

On retiendra également la mesure *ex situ* du pouvoir en tant que potentiel à modifier la capacité d'action des autres.

Au final nous pouvons mesurer le « pouvoir de » (*satisfaction*), le « pouvoir sur » ou « *influence sociale* » (*pouvoir* et *pouvoir potentiel*), et nous disposons également d'une mesure de « l'exercice du pouvoir » (*avantage transactionnel*) qui met en avant les qualités stratégiques de l'acteur dans le jeu social. Nous espérons que cette contribution aura permis de rendre compte de l'aspect transactionnel et relationnel du pouvoir chez Crozier. Toutefois nous sommes conscient que le pouvoir est toujours une notion complexe et que nos travaux soulèvent sûrement des points de débats nécessaires à établir une solide théorie mathématique du pouvoir.

A ce titre, il n'est pas surprenant de constater que d'autres travaux se sont déjà emparés de la question de la mesure ou de la formalisation du pouvoir. Ces travaux mobilisent des concepts différents ou similaires, d'autre approches, ont des origines variées et, parfois, assez proches des notre. Ces travaux peuvent s'avérer contenir des pistes de réflexions intéressantes, voir des solutions toutes prêtes pour compléter nos travaux. L'enrichissement mutuelle est aussi envisageable, notamment en ce qui concerne les travaux développés au sein de l'*analyse des*

réseaux sociaux.

5.1 Les réseaux sociaux

Le domaine de l'analyse des réseaux sociaux [Degenne & Forsé, 1994] a, depuis les travaux de [Moreno, 1934], une longue culture de la mesure mathématique. Le domaine s'intéresse essentiellement à produire des mesures de structures de graphes dont les nœuds représentent des acteurs et les arrêtes des relations entre ces acteurs. La plupart de ces mesures concernent une dimension du pouvoir qui n'est pas vraiment exploitée dans nos travaux : celle de la maîtrise de la communication. Les mesures du pouvoir proposées par l'analyse des réseaux sociaux mettent en avant la position des acteurs et leurs degré de connectivité pour déterminer leur pouvoir. Ainsi les mesures dites de *centralité* s'appuient sur le nombre d'accointances d'un individu, éventuellement l'importance des individus avec lesquels il est connecté, le nombre de chemin minimaux auxquels il appartient, etc. D'autres mesures permettent de rendre comptes de propriétés particulières du réseau pouvant être soumises à la stratégie des acteurs. Ainsi, les *équivalences structurales* décrivent des positions (quasi-)identiques de deux ou plusieurs acteurs, chacun étant relié aux mêmes nœuds. Un acteur dans cette position est alors moins indispensable et dispose donc d'un pouvoir moindre puisque la même information peut être obtenue par un autre acteur. Les trous structuraux [Burt, 1995] mettent en avant des liens vides du réseau, dont l'établissement permettrait d'augmenter le pouvoir de certains acteurs et/ou à l'inverse de casser un monopole dans l'acheminement de la communication.

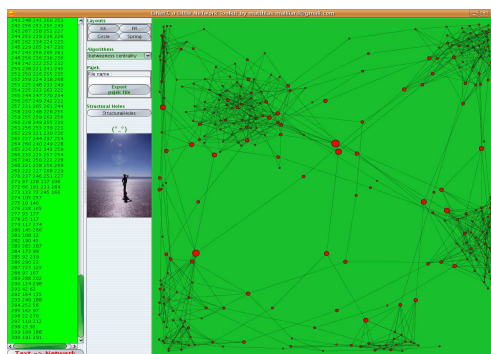


Figure IV.5 - Exemple d'utilisation de l'analyse des réseaux sociaux sous LiNeTT. La taille des nœuds du réseau sont ici pondérés par la *centralité d'intermédiation*.

L'analyse des réseaux sociaux que ce soit pour l'analyse structurelle des positions de pouvoir ou l'établissement de stratégies affectant la structure du réseau paraît indispensable à la poursuite de ce projet. L'intégration de l'analyse structurelle peut facilement être envisager car :

- au niveau de la SAO, la *maitrise de la communication* est explicitement définie comme une des ressources du pouvoir au sein d'un SAC.
- en terme de structure mathématique, un modèle de SAC est un graphe bipartite. Il suffit de le transformer en un graphe simple orienté.
- des outils logiciels ont été développés :
 - SocLab (Chapitre VII) inclue déjà de nombreux outils de représentation de graphe et pourrait être complété par
 - [LiNeTT, 2007] (Figure IV.5), un logiciel destiné aux sociologues (un exemple dans [Sturma, 2007]) et aux économistes (un exemple dans [Berrou, 2007]) permettant de générer simplement des graphes orientés (éventuellement pondérés) et permettant l'accès aux principales mesures issues de l'analyse des réseaux sociaux.

Le couplage entre l'analyse des réseaux et l'analyse stratégique peut s'entrevoir sous au moins deux angles différents :

- Les deux approches peuvent tout d'abord être couplées pour rendre compte du même objet organisationnel. Les acteurs du SAC sont alors identiques aux nœuds du réseau, les deux approches présentant des structures et des indicateurs complémentaires.
- Il est ensuite possible d'articuler les deux types d'analyses à des niveaux organisationnels distincts. L'une des approches sera alors employée à éclairer l'environnement d'une organisation, dont l'étude sera affinée par l'autre approche. Il est ainsi possible d'envisager différents cas d'utilisation :
 - Une analyse SAO d'un SAC dont l'environnement est analysé en amont comme un réseau.
 - Une analyse réseau, où l'on pourrait effectuer des *zoom stratégiques*, c'est à dire où l'on s'intéresserait à la dimension stratégique des acteurs de certains sous-réseaux.
 - A l'inverse, il est possible de procéder à une analyse SAO pour une organisation composée d'acteurs collectifs, pour ensuite procéder à un *zoom réticulaire* sur un ou plusieurs acteurs collectifs [Sturma, 2007].

5.2 La théorie des jeux

Par ailleurs, la théorie des jeux a ouvert la voie à plusieurs réflexions sur le pouvoir dans divers domaines. Les indicateurs et outils proposés servent en général comme support pour la prise de décision, pour l'aide à la négociation, ou pour l'établissement de mécanismes d'incitation aux respect de règles équitables ou *mechanism design*.

Le *mechanism design*²² est souvent utilisé en économie, en sciences politique et dans la théorie des votes pour définir des règles garantissant des systèmes équitables, sans abus des uns aux dépens des autres. Le *mechanism design* est aux croisements de la théorie du choix social [Arrow, 1951], [Coleman, 1990] de la théorie de l'équité [Sen, 1979], de la théorie des jeux, et se prolonge en informatique et dans les SMA [Rosenschein & Zlotkin, 1994], [Dash, Parkes, Jennings, 2003]. Ces travaux s'intéressent notamment aux coalitions, à leur formation et éventuellement au pouvoir. C'est le cas de la théorie du vote, que présentent [Andjiga, Chantreuil, Lepelley, 2003], et qui distingue deux catégories de pouvoir [Felsenthal et Machover, 1998] :

- le I-pouvoir, est le pouvoir en tant qu'influence, « *il mesure la capacité électeur ≠ contrôler le résultat du vote* ». Il est de l'ordre idéologique en ce sens que l'issue du jeu est la mise en place d'une décision qui affecte l'ensemble des électeurs.
- le P-pouvoir, est le pouvoir en terme de prix, c'est à dire que l'orientation du votant est fonction de ce que le vote lui apporte directement en terme de compensation financière, sociale ou autre.

Nous pensons que la formalisation que nous proposons est bien plus claire dans sa distinction de ce qui est du niveau idéologique ou axiologique, du niveau personnel et du niveau du groupe d'une part, et de ce qui est du niveau du gain ou du niveau de l'influence social d'autre part.

²² Nous tenons à remercier un gentil rapporteur pour nous avoir orienté vers ce domaine, et surtout notre ami économiste Christian Kiedaisch du QREQAM pour nous avoir fait découvrir les prix Nobel [Hurwicz, Maskin, Myerson, 2007].

Ceci mis à part, [Andjiga, Chantreuil, Lepelley, 2003] exposent des mesures du pouvoir intéressantes dans la lignée de celles issue de l'analyse des réseaux. Ces mesures sont des mesures de pouvoirs à priori (*ex situ*). Un jeu de vote est composé d'un ensemble de votants et d'une fonction qui définit si une coalition de votants est gagnante ou pas. Ce sont des jeux très simples où la décision de chaque acteur se limite à accepter ou refuser une proposition. Les jeux peuvent être légèrement complexifiés en fixant un quota majoritaire d'acceptation et un poids décisionnels pour chaque joueur. Les indices de pouvoir alors proposés font intervenir le concept de joueur décisif, c'est à dire un joueur dont la défection d'une coalition gagnante la rend perdante. Plusieurs indices sont possibles, suivant les différentes combinaisons de coalitions auxquels un acteur peut prendre part, et en fonction de la capacité à faire basculer une majorité, en fonction de son poids dans les différentes coalitions possibles, en fonction du nombre d'appartenance, de la taille des coalitions, du nombre de fois où l'acteur est décisif, etc.

5.3 Pouvoir et échange social

La question de l'*échange social*²³, qu'elle soit abordée par les *théories de l'échange* ou dans le paradigme du *don/contre-don* (ou *potlatch*), a permis de développer des conceptions intéressantes du pouvoir. Les auteurs traitant de l'échange social ont par ailleurs inspirés nombre de travaux en simulation sociale multi-agents.

5.3.1 Les théories de l'échange

A la base des théories de l'échange, on retrouve les travaux de George Homans [Homans, 1958], de Peter Blau [Blau, 1964], le premier s'intéressant plus à la structuration des relations interpersonnelles aux seins des groupes, et le second plutôt à la structuration complexe des phénomènes macrosociologiques. La théorie se développe ensuite avec Emerson [Emerson, 1997], qui propose une approche réticulaire et bien formalisée de l'échange. La *théorie réticulaire de l'échange* postule un *pouvoir* sur fondé sur la valeur des ressources, l'accès à des sources alternatives, la fréquence des interactions et les connexions entre les relations. Linda Molm synthétise et développe la théorie [Molm, 1997] en y intégrant la dimension coercitive du pouvoir avec une réflexion intéressante sur son exercice et les risques de rompre la relation qu'entraînerait un abus.

Le fait de disposer de théories déjà bien formalisées, a permis une pénétration plus facile des théories de l'échange dans le domaine des SMA et de la simulation sociale. On peut dire que ces travaux trouvent entre autres leurs fondations dans [Castelfranchi, 1990], [Castelfranchi, 1992], [Sichman, 1994], [Conte & Castelfranchi, 1995]. Ces auteurs reprennent au final les résultats de la théorie réticulaire de l'échange pour produire des cadres de représentations d'organisation sociale dynamique et ouverte. Sur ce, les agents membres de ces organisations sont alors capables de se représenter le système afin de mobiliser cette connaissance dans leur processus de prise de décision. C'est ce que propose par exemple [Sichman, 1994], [Lopez y Lopez & Luck, 2002], [Boissier et al., 2004], [Herzig et al. 2008]. Des mécanismes sociaux de coordination sont alors proposés sur la base de ces représentations, comme, notamment, la formation de coalitions [Sichman, 1994], que les agents peuvent engager, suivant leur objectifs, et en fonction des situations de dépendance qu'ils auront détectés.

Dans ces travaux, le concept de *pouvoir* est le pendant de celui de *dépendance*. Il recouvre différentes notions : le *pouvoir de* (autonomie dans l'action et l'accès aux ressources nécessaires),

23 Les références sociologiques sur l'échange social sont essentiellement empruntées à l'article de [Kook & Mauzet, 2005] (paru dans [Boudon, Cherkaoui & al., 2005]).

et le *pouvoir sur* (dépendance d'un acteur tiers pour remplir un but), ainsi que le *pouvoir institutionnel* [Sergot, 1996].

L'approche SMA des théories de l'échange se présente in fine comme une théorie descriptive, plus utile pour la prise de décision, que pour la compréhension d'un phénomène social. Ce n'est ainsi pas un hasard si ces travaux sont essentiellement mobilisés dans un contexte applicatif logiciel comme les réseaux peer-to-peer ou les systèmes d'enchères. Si ces travaux ont donné lieu à une démarche compréhensive des processus de confiance et de réputation, on regrette que la même approche n'était envisagée pour les processus de pouvoir, d'autant plus que les théories sociologiques de l'échange s'y intéressent au plus près avec, notamment, les travaux de Linda Molm sur, entre autre, l'usage du pouvoir coercitif²⁴ [Molm, 1997].

5.3.2 Don et potlatch

Le potlatch est à la base une cérémonie au cours de laquelle étaient distribuées des biens entre des tribus adversaires d'Amérique du Nord au XIX^{ème} siècle. Plus le présent offert à l'autre était important, plus l'autre s'en trouvait obligé de se débarrasser de cette dette en faisant preuve de réciprocité, voir mieux, sous peine de guerre ou de conflit. Cette forme d'échange particulière a été érigée par Marcel Mauss en tant que modèle d'*échange-don*, basé sur une triple obligation de donner, de recevoir et de rendre. On parle également du paradigme du *don/contre-don*.

Ces formes d'échanges se retrouvent également dans divers endroits du monde, aujourd'hui encore. A Mayotte, par exemple, la cérémonie du *grand mariage* ou *shungu* [Genries, 2003] est organisée par le jeune homme. L'homme ne peut l'organiser qu'avec l'aide de nombreuses personnes puisqu'il doit inviter tout le village. Il devra alors solliciter toutes les personnes à qui il aura rendu service dans le passé, et dont les femmes tiennent registre. L'organisation du *grand mariage* est bien plus qu'un échange de services puisqu'il permet au jeune homme une validation publique de son nouveau statut social : un adage dit "*yatsu fayna anda ye kakaya hindru*" (qui n'a pas accompli son grand mariage ne sera jamais quelqu'un dans la vie). Plus que ça, le *shungu* consiste aux diverses étapes qui permettent d'accéder à l'état d'homme, puisque dans la société comorienne on ne naît pas homme, on le devient par le processus d'intégration sociale. A travers cet exemple, nous entendons illustrer, quoique sommairement pourquoi Marcel Mauss a fait du potlatch un concept majeur de l'anthropologie : un *fait social total*, c'est-à-dire doté de caractéristiques :

- Morphologique : structure et fonctionnement de l'organisation. Par exemple pour le *grand mariage* comorien : aux femmes de tenir les registres. Les oncles annoncent le mariage, ...
- Juridique : Dans la société comorienne, l'enfant, le jeune homme et l'homme ne portent pas les mêmes responsabilités et ne seront pas pénalisés de la même façon en cas de faute. Faire son *grand mariage* donne ainsi des responsabilités mais également des droits.
- Religieux : Le fait d'acquérir le statut d'homme tout au cours du *shungu* se base sur la conception que par la volonté de Dieu, la nature crée un *mdrandrabo* (faux humain), qui devient humain par diverses étapes de l'intégration sociale.
- Chamanique : Le potlatch des indiens de la côte ouest américaine était composé, entre autres, de rites chamaniques, et, en tant que faits sociaux, ceux-ci participaient à la régulation

²⁴ Linda Molm traite de l'exercice, ou du non exercice, concret du pouvoir coercitif et non juste de ce qu'il est ou pourrait être, comme cela est le cas dans [Lopez y Lopez & Luck, 2002] où les auteurs proposent une taxonomie du pouvoir.

des échanges.

- Esthétique : L'échange est *joué*, et les *acteurs* marquent le don ou le contre-don par l'utilisation de parures, d'habits distingués, de décors, ou de maquillages.
- Économique : toujours sur l'exemple du grand mariage, celui ne peut se faire qu'après avoir économisé pendant plusieurs années. Même les services sont comptabilisés.

De part sa nature de fait social total, les réflexions autour du pouvoir y semble plus qu'intéressantes : triple obligation de donner, de recevoir et de rendre ; expression de la domination sur l'autre par le gaspillage (de dons) ; échanges symboliques ; création et entretien du lien social ; acquisition de prestige, de statuts, et de rôles sociaux ; transmission de ressources ; etc.

Il est assez surprenant que le potlatch, qui, selon [Cook & Mauzet, 2005], a fortement inspiré les fondateurs des théories de l'échanges, que sont Peter Blau et George Homans, n'ait pas eu le même succès que celles-ci à se diffuser dans les SMA. Il existe toutefois deux travaux en simulation multi-agents qui traitent du don/contre-don :

- les travaux de Juliette Rouchier et François Bousquet [Rouchier et al., 2001] étudient la construction de la réputation d'individus au sein d'une société, basée sur des échanges en termes de *dons de prestige* ou de *dons de partage*, qu'ils mettent en œuvre suivant qu'ils recherchent *prestige* ou *intégration sociale*.
- Les travaux de [Alam et al., 2005] se situe dans le cadre d'un marché artificiel de tâches. Les auteurs introduisent la possibilité de procéder à des échanges de dons afin de construire des relations dyadique de long termes. Celles-ci sont sensées permettre des alliances, renforcer la confiance et structurer le marché.

Chapitre V - Le comportement des acteurs sociaux

1 Introduction

Dans le *chapitre III*, nous avons proposés un méta-modèle qui permet de modéliser des structure de SAC. Dans ce chapitre nous proposons d'établir un modèle rationalité qui devra rendre compte du comportement d'un acteur stratégique. L'objectif est alors de pouvoir essayer ce modèle sur un modèle de cas d'étude concret (*chapitre VI*) afin de d'effectuer des simulations et de valider le méta-modèle. Par ailleurs ce chapitre illustre, avec plus ou moins de succès, une démarche incrémentale de validation des modèles de rationalité, voir une heuristique de validation.

Nous cherchons un modèle du comportement des acteurs sociaux tel qu'il est analysé par la SAO. Ce comportement est stratégique, chaque acteur cherchant à préserver ou à améliorer son niveau de pouvoir par l'intermédiaire des zones d'incertitudes qu'il maîtrise, et il s'exerce dans le cadre d'une rationalité limitée, due à l'opacité des relations sociales et aux capacités cognitives des acteurs. De plus ce comportement est relativement stable (du moins tant que la structure du SAC n'est pas modifiée), ce qui donne lieu au phénomène de *régulation* : les acteurs se comportent comme s'ils obéissaient à des règles, règles que la rationalité de leur comportement les incite à établir et à respecter, et qui assurent au système une forme et une dynamique stabilisées. Enfin, ce comportement est globalement coopératif, cette coopération étant nécessaire au bon fonctionnement du SAC et chacun ayant intérêt à ce bon fonctionnement, ne serait-ce que parce qu'il est indispensable à la perpétuation du système.

Afin de bien comprendre notre démarche et les modèles proposés, nous revenons sur ce que représente un SAC pour les acteurs qui y participent (*section 2*) : quelles sont les règles et objectifs du jeu social auquel ils vont participer ?

Nous procédons alors, en *section 3*, à un rappel sur la démarche de modélisation entreprise dans ce mémoire afin de préciser le rôle de la construction d'un modèle de rationalité, et l'importance de celui-ci dans plusieurs étapes de validation. Nous poursuivons alors la réflexion sur la validation des modèles de rationalité, et proposons un banc d'essai qui nous permet de tester le caractère stratégique et surtout la propension à coopérer des modèles envisagés.

La *section 4* présente un modèle de rationalité *utilitariste*, fondé sur un mécanisme à base de règles. Le modèle est alors testé sur notre banc d'essais. Une exploration exhaustive de l'influence des paramètres sur l'issue des simulations conduit à des résultats peu probant sur la capacité de ce modèle à se saisir des possibilités de coopération mutuellement avantageuse.

En *section 5* est alors proposé un modèle de rationalité orienté vers la coopération, qui s'appuie, en plus du mécanisme à base de règle, d'un mécanisme à base de seuil qui représente l'ambition de l'acteur, et qui permet de régler la balance entre exploration des états du système et exploitation des règles apprises. Nous testons directement le modèle sur des modèles simples de coopérations à deux et trois acteurs. Les résultats en terme de coopération sont au final probant.

En conclusion (*section 6*), nous revenons sur le rôle du temps nécessaire à l'exploration et sur son impact sur la coopération.

2 Le jeu social : première pierre de la construction d'une heuristique de validation

Dans [Mailliard & al., 2005] nous avons proposé de considérer un SAC comme un « jeu social », une version simplifiée du méta-modèle de la SAO [Sibertin-Blanc & al., 2005] où ressources et relations sont formellement²⁵ confondus. La première motivation de la formalisation du jeu social est la volonté de disposer d'un système d'action concret minimaliste. Un tel SAC, ou jeu social minimaliste, est structuré par deux relations chacune contrôlée par un acteur. Il permet de vérifier certaines propriétés de l'échange social entre deux acteurs et d'analyser leurs comportements dans de telles situations, comme la propension à la coopération ou le développement de stratégies individualistes. Il permet surtout, grâce à son caractère minimaliste, de réduire les temps de calculs inhérents aux phases de vérifications et de validation des modèles de rationalité mis en œuvre. A ce titre le jeu social minimaliste s'inscrit naturellement comme la première étape d'une heuristique de validation telle qu'énoncée en introduction de ce chapitre. C'est en quelque sorte un banc d'essai des modèles de rationalité (voir section 3).

Si le jeu social a de « social » l'étude de modèles de rationalité d'acteurs sociaux dont la coordination adaptative conduit à l'émergence de formes d'échanges sociaux, il a de « jeu » à la fois la dimension développée autour de la théorie des jeux dans la formalisation de certaines situations en amont de la prise de décision, autant que celle de jeu de société ou jeu de rôle, avec des règles et objectifs, pouvant être joué par des acteurs humains mis en contexte par un arbitre/maitre de jeu également humain.

Cette dernière facette du jeu social, que nous n'aborderons qu'en perspective de cette thèse, est une pratique conduisant vers la sociologie expérimentale, jusqu'ici peu utilisée en France. Cette pratique plus développée aux Etats-Unis en sociologie [Molm, 1997] ou dans d'autres disciplines comme l'économie (représentée par les prix Nobel Vernon Smith [Smith, 1976] et Daniel Kahneman [Kahneman & Tversky, 1979]), ou la psychologie sociale (les exemples sont nombreux du sociodrame de Moreno [Moreno, 1986] à l'expérience - *gardiens/prisonniers* - de Stanford de Zimbardo [Zimbardo, 1971]) permet l'étude du comportement humain dans un contexte concret ou virtuel. Les informations recueillies sur le comportement des joueurs et par ces derniers peuvent alors servir à formuler des protocoles et des règles de validation pour des modèles de rationalité d'acteurs en situation contextualisée. Une autre voie pour ce type de jeu est celle notamment développée en France par le CEMAGREF et le CIRAD autour de l'utilisation des jeux de rôles et de la simulation multi-agents comme artefacts de construction collective de représentation et d'outils d'aide à la négociation en situation de conflit [Barreteau & Daré, 2007], [Bousquet et al., 2006], [Ferrand, 2000].

L'aspect « théorie des jeux » du jeu social appelle toutefois quelques précisions importantes. Il convient en effet de rappeler que la théorie des jeux s'est attelée à modéliser des situations, ou modèles, ou encore *jeux*, où des *joueur* sont amenés à effectuer un choix entre plusieurs options. Les *issues* résultant des choix des acteurs sont formalisées par une *fonction d'utilité*, qui détermine un *gain* pour chaque acteur. L'hypothèse de base de la théorie des jeux sur le comportement des acteurs est une hypothèse de recherche du gain maximum en situation d'information complète. Cette hypothèse mutilante, dont les limites ont entre autres été exposées sous forme de paradoxes tel le dilemme du prisonnier, s'écarte par trop de la dimension sociale pour avoir sa place dans le jeu social. Elle s'oppose de plus à l'hypothèse de rationalité limitée

25 Il n'en est pas de même au niveau de l'interprétation sociologique, bien entendu.

des acteurs sociaux portée par [Simon, 1969] et support de la réflexion de la SAO sur le comportement des acteurs sociaux.

Ces distinctions faites, il devient intéressant de penser la construction d'un pont entre les structures de jeux classiques et celles du jeu social. En effet le lecteur connaissant quelque peu la théorie des jeux fera probablement le lien entre les concepts mathématiques de la théorie des jeux et ceux du jeu social, notamment entre *fonction d'utilité* et *fonction de satisfaction*, *gain* et *solde*, *issue* et *effet*, *jeu* et *SAC*, *joueur* et *acteur social*. Entendons bien que la seule équivalence qu'il pourrait exister entre ces notions est de l'ordre de la représentation mathématique, c'est à dire syntaxique, et non sémantique. Ceci dit la théorie des jeux propose de caractériser les situations qu'elle modélise, les situations auxquelles amènent certaines stratégies et les types de stratégies développées par les joueurs, à l'aide de concepts mathématiques robuste. Il est ainsi intéressant de savoir qu'une structure de SAC qui correspond à un *dilemme du prisonnier* où le comportement des acteurs qui cherchent à minimiser leur perte de gain conduit à un *équilibre de Nash* au dépend de l'atteinte d'un optimum de Pareto, socialement plus intéressant. Ils auront préféré un comportement individualiste au lieu de s'engager dans une coopération, situation assez fréquente dans la réalité des relations sociales intra-organisationnelles.

2.1 Objectifs

L'objectif de l'acteur social, en termes d'enjeu, a un caractère rationnel utilitariste [Friedberg, 1993], il est porté par la mise en relation rationnelle des moyens pour y accéder, en ce sens on peut dire qu'il est mu par une rationalité en finalité [Aron, 1976]. L'objectif du jeu social, ou méta-objectif, est d'ordre social ou organisationnel, et implique la mise en œuvre d'une forme de « rationalité en valeur » [Aron, 1976]. Max Weber expose la rationalité en valeur comme fondée sur la « croyance en la valeur intrinsèque inconditionnelle d'un comportement ». Pour nos agents il n'est nullement question d'appuyer leur décision sur des valeurs ou des traits culturels explicites, mais de valider leur comportement en fonction de la définition mathématique d'une utopie sociale, d'un idéal type. Cette démarche présente l'avantage de ne pas préjuger des raisons en valeurs du comportement des acteurs sociaux tout en permettant d'en tirer des catégories d'acteur induites sur la réussite ou l'échec de l'atteinte du méta-objectif social. C'est ainsi que nous présenterons en section 5 de ce chapitre un modèle d'agent qui cherche à atteindre ses objectifs individuels, en tentant de maximaliser ses gains, et dont la mécanique permet en présence d'autres agents du même type de s'approcher d'un optimum social de Pareto. Si un optimum de Pareto peut s'interpréter en valeur comme socialement « bon » ou pas, est hors de notre propos, autant que de dire que nous avons produit un « gentil agent coopératif ». Ce qui nous importe est qu'il existe des situations sociales que l'on peut « mettre en boîte », ou cataloguer comme étant un optimum de Pareto. C'est ensuite de savoir qu'un type d'agent, étiqueté de « gentil agent coopératif » ou autre, peu importe, dispose d'une mécanique permettant d'atteindre cet état. Et c'est finalement de pouvoir interpréter sociologiquement les éléments et processus mis en œuvre dans la dynamique de l'agent qui ont conduit à l'émergence de cet état social. En bref ce qui nous intéresse c'est la recherche de l'explication de l'émergence d'un processus social, qui implique de sortir de la relation linéaire d'une rationalité instrumentale reliant les fins aux moyens, d'où notre analogie avec la rationalité en valeur : s'il n'est pas question de valeur dans nos modèles, ceux-ci présentent toutefois un comportement bien défini, libre ensuite au sociologue de l'interpréter comme fondé sur telle ou telle valeur.

2.2 Les règles du jeu

La SAO s'applique à des organisations, des *Systèmes d'Action Concret* (SAC), dans lesquelles les acteurs sont durablement engagés au titre de leur participation à l'organisation. Dans un tel système, les rapports entre les acteurs sont relativement stables, régulés par les règles du jeu social. Le comportement de chacun est théorisé dans le cadre d'une rationalité limitée [Simon, 1969]. Celle-ci est mise en œuvre dans la perspective de maintenir ou d'accroître le pouvoir qu'il exerce sur les autres par l'intermédiaire des relations qu'il contrôle. Il s'agit pour chaque acteur d'influer sur le comportement de ceux qui dépendent des relations qu'il contrôle, et échapper à cette même dépendance vis à vis de ceux – essentiellement les mêmes – qui contrôlent les relations dont il a besoin ([Crozier & Friedberg, 1977], [Friedberg, 1993]). Le caractère stratégique de ce comportement conduit donc chaque acteur à chercher à obtenir une valeur acceptable (à défaut de l'optimum) pour sa satisfaction. Dans ce contexte, l'activité sociale consiste à manipuler les termes de l'échange des relations que l'on contrôle pour parvenir à cet objectif.

Ce que l'on cherche donc à obtenir par la simulation, c'est le niveau des termes de l'échange des relations pour lequel les relations de pouvoir entre les acteurs sociaux se stabilisent dans un contexte donné. Pour y parvenir, on veut munir chaque acteur d'un mécanisme qui lui permette d'adapter son comportement à celui des autres en se conformant à une rationalité limitée. Le comportement d'un acteur consiste, comme nous l'avons vu, à modifier les termes de l'échange d'une relation contrôlée par l'acteur. Cette modification se fait non pas en fixant plus ou moins arbitrairement une nouvelle valeur aux termes de l'échange, mais par un déplacement qui ajoute un certain incrément à sa valeur courante, tout en restant à l'intérieur de l'espace de choix de la relation. La stabilisation du comportement des acteurs est alors obtenue lorsque chacun est susceptible d'accepter son propre niveau de satisfaction et celui des autres. Afin de stabiliser ce comportement, une fonction *satisfait?* est définie pour chaque mécanisme de rationalité proposé. La définition de cette fonction se base sur un postulat sociologique portant sur les déterminants de la stabilisation d'un comportement social. On peut postuler qu'un acteur stabilise son comportement lorsqu'il a effectué la même action durant un certain nombre de tours, lorsque qu'il joue l'action nulle (action = (0)_r), lorsqu'il se trouve assez proche de ses objectifs, ou lorsque ses aspirations sont comblées.

Le déroulement du jeu, c'est-à-dire sa dimension dynamique, est ordonnancée par un temps rythmé par des tours de jeu. A chaque tour de jeu, chaque *agent* choisit une *action*, puis l'ensemble des actions choisies est appliqué pour modifier la valeur du *terme de l'échange* de chaque *relation*. Le jeu est ainsi itéré jusqu'à l'objectif qui consiste à sa stabilisation dans un état du jeu.

Le comportement de chaque agent participant au jeu social est ainsi guidé par un objectif social. S'il essaie d'atteindre un équilibre de Nash, il jouera de façon défensive afin de minimiser ses pertes. Il peut également viser à atteindre un optimum global qui maximise la somme des satisfactions des membres du système, quitte à créer de grandes disparités. Il peut, pour palier à la précédente situation, chercher à être égalitaire en minimisant la somme des écarts à la moyenne des satisfactions de chaque acteur. Si l'égalité des satisfactions est impossible en l'état du système ou du fait du jeu d'autres acteurs, il peut adopter un objectif social en cherchant à maximiser la position minimale.

3 Rappel sur le processus de modélisation et de validation

Le développement formel d'une théorie sociologique tel que nous l'avons entrepris (figure Fig 5.1) est, rappelons-le, un processus collectif de construction de connaissances qui s'effectue par des va-et-vient entre trois types d'objets : la théorie sociologique, le méta-modèle, et les cas d'étude qui sont les objets cibles du modèle. Les productions de la « descente » du processus : *théorie sociologique* → *méta-modèle* → *modèles* - sont complétées par la phase « ascendante » du feedback : *modèles* → *méta-modèle* → *théorie sociologique*. Ce processus conduit à une double contrainte de validation :

- *validation du méta-modèle* : c'est le feedback *modèles* → *méta-modèle*, qui suit la phase de développement d'un modèle construit sur la base du méta-modèle. La validation du méta-modèle consiste à évaluer sa capacité d'expression. A concevoir celui-ci comme un champs sémantique muni d'une grammaire, son évaluation équivaut à se poser la question : « *que peut-on dire en ses termes ?* ». Pour le modélisateur, ne pas pouvoir valider cette phase équivaut à l'expression de la conclusion : « *je ne peux pas le dire* ». Et *ce dont on ne peut pas parler* se constate soit lors la description de l'organisation ou des acteurs, soit lors de celle de leur dynamique, à l'issue des simulations. En d'autres termes, ceux de la simulation, cela revient à ne pas pouvoir modéliser le système cible (le SAC) ou à ne pas trouver d'interprétation cohérente des résultats de simulation. Dans le premier cas le constat est qu'aucune formulation ne permet de décrire l'état initial du cas d'étude, dans le second toute formulation le permettant conduit à une interprétation de la dynamique non consistante avec la description sociologique. Dans les deux cas la capacité d'expression du méta-modèle est inadaptée, et il faut en déplacer les limites. De par la nature intrinsèquement interdépendante de l'acteur et du système, le changement de la grammaire du méta-modèle conduit dans la plupart des cas à proposer un nouveau modèle de la rationalité de l'acteur.

- *validation du modèle* : elle se base en partie sur la possibilité d'interpréter le modèle et les résultats de simulation dans les termes de la théorie sociologique, et se complète par la bonne connaissance du fonctionnement du modèle. La validation du modèle est une précondition nécessaire à la validation du méta-modèle, c'est également une tâche méthodologiquement contraignante dont la complexité empêche bien souvent la réalisation exhaustive.

- L'interprétation suppose d'avoir défini la *sémantique* des différents paramètres du modèle, c'est à dire de leur avoir associé un *domaine d'interprétation* donnant la signification, dans les termes de l'analyse sociologique, de leurs différentes valeurs. La définition de ces sémantiques doit s'effectuer lors de la modélisation, en amont des simulations, afin de s'assurer que les domaines d'interprétations ne subissent pas de glissements qui conduiraient à une sur-interprétation des résultats. En effet il est fréquent que les apprentis modélisateurs, autant que les experts, donnent un premier sens aux paramètres, puis d'en changer lors de l'interprétation des résultats numériques. Fixer des domaines d'interprétation permet de qualifier les résultats de simulation sous la forme d'énoncés en langage naturel, ce qui présente une économie cognitive importante en regard de la manipulation de données numériques.

- La bonne connaissance de la dynamique du modèle passe par des processus d'analyse telles que l'analyse de sensibilité, l'exploration de l'espace des paramètres, la validation croisée, etc.

L'échec de la validation d'un modèle ne conduit pas à la remise en question du méta-modèle mais uniquement à celle du modèle. La grammaire du méta-modèle permet en effet de décrire un ensemble assez vaste de modèles, chacun constituant une théorisation formelle du cas.

Les hypothèses constituant cette théorisation peuvent alors être augmentées, supprimées ou révisées. Dans l'absolu, il devrait être nécessaire d'invalidier chaque théorisation possible pour invalider le méta-modèle. Mais dans les faits cette entreprise reste impossible car le nombre de théories « pertinentes »²⁶ pouvant être décrites dans la grammaire du méta-modèle est considérable.

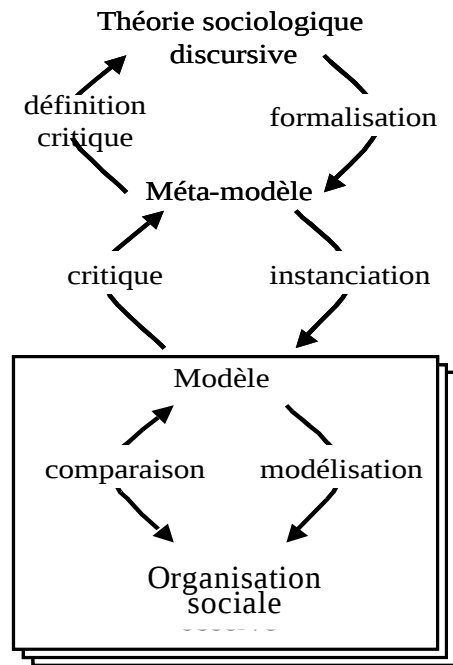


Figure V.1 - Les étapes de la démarche de formalisation d'une théorie

Ainsi, la formalisation de la théorie est cadrée par le double processus de validation. Les différents cas d'étude empiriques sont ainsi à la source de cette formalisation ancrée dans une épistémologie constructiviste [Le Moigne, 1995]. Toutefois les cas d'étude que nous avons entrepris de modéliser n'ont pas été choisis au hasard. Ainsi une série de modèles de complexité croissante a été développée : du dilemme du prisonnier social (cf section 4), au cas Bolet (cf. chapitre VI) en passant, entre autre, par le cas Trouville (cf. chapitre IV). Chaque modélisation probante valide ainsi un peu plus le méta-modèle. La démarche de modélisation n'est pas tout à fait linéaire. Il s'agit bien plus d'une démarche heuristique ayant émergée de notre expérience que d'une méthode formelle.

3.1.1 Validation des modèles agents et compréhension des causes de l'émergence

De même que la validation du méta-modèle ou d'un modèle de SAC se fait en plusieurs étapes, la validation des modèles comportementaux des acteurs se fait par tâtonnements successifs. Nous avons ainsi appliqué une démarche d'abstraction décroissante [Lindenberg, 1992]. Partant d'un modèle d'agent simple, nous avons ajouté par étapes successives les caractéristiques indispensables pour obtenir le comportement social désiré qui n'est déterminé que par l'observation de propriétés particulières du système. Ainsi la modélisation et la validation de modèles du comportement des agents sociaux permettent de produire par étapes successives des processus de simulation dont les interactions conduisent l'organisation en un état particulier.

²⁶ Par « pertinente », il est entendu possédant une certaine forme d'adéquation avec l'analyse sociologique. A titre d'exemple les hypothèses ne peuvent concerner une centaine d'acteurs dans la modélisation d'un cas d'étude dont l'analyse a révélé une dizaine d'acteurs pertinents.

Autrement dit, il s'agit d'un processus de recherche et de compréhension par étapes des causes (comportement des agents) de l'émergence de phénomènes organisationnels bien définis.

3.1.2 Principes de validation de modèles de rationalité

Lorsque l'on cherche à valider un modèle, il est de comprendre le rôle des paramètres sur l'issue des simulations. Plusieurs méthodes existent pour jauger de cette influence : analyse de la sensibilité aux conditions initiales du modèle, exploration de l'influence d'un ou plusieurs paramètres. Concernant des modèles d'agents en particulier, il faut de plus prendre en compte le fait que l'agent est situé dans son environnement et interagit avec d'autres agents. La validation du modèle d'agents peut alors se faire en confrontant le modèles à d'autres modèles dans un contexte donné. C'est le principe des tournois utilisés par l'approche évolutionniste, en théorie des jeux ([Axelrod, 1992], [Young, 1998]).

Confronter un comportement à une autre intelligence, artificielle ou humaine, est ce qui se fait depuis les débuts de l'intelligence artificielle pour jauger des caractéristiques des modèles produits. Cette validation se base toujours sur quelques critères, qui dépendent de la question de recherche à laquelle contribue la modélisation ([Minsky, 1968], [Amblard, Bomel, Rouchier, 2006]).

Une autre approche est de tester le même modèle dans des environnements différents. Les algorithmes de type Qlearning peuvent être testés dans des *mondes* aux propriétés particulières, les étudiant en IA peuvent s'essayer à des modèles logiques sur le *Tarsky's word*, et plus généralement il chercheront à prendre l'or de l'affreux Wumpus, tandis que certains profiteront des *mods* du jeu Half-Life pour proposer des mécanismes intelligents assurant le déplacement cohérent en groupe, etc. En bref, une méthode vieille comme l'IA dont l'intérêt est de tester l'adaptation des agents dans différents environnements ou de découvrir les meilleurs stratégies pour un (type d') environnement précis.

Une autre approche intéressante est la double validation que propose Takadama [Takadama, 2003]. Elle consiste à tester pour un environnement donné (un jeu de négociation à deux acteurs par exemple) des modèles différents (le même pour tous les agents), et pour chaque modèle sont testés différents composants ou processus.

3.1.3 Protocole expérimentale basé sur la validation croisée

Pour notre part, nous nous sommes inspirés de cette dernière approche pour définir notre protocole expérimental. De manière générique, le critère de validation est le même quelque soit le modèle, c'est à dire qu'il doit arborer un comportement stratégique et opportuniste qui assure un minimum de coopération. Nous avons, dans [Mailliard et al. 2005], proposé deux types de modèles, nous ne présenterons ici que le plus intéressant, celui dont l'algorithme a été présenté à la section précédente. Pour chaque modèle, nous avons exploré l'influence des principaux paramètres de l'agent, ceux que fixe l'informaticien, et des paramètres de l'acteur, ceux qu'explore le sociologue.

Par ailleurs, l'étude du comportement nécessite d'utiliser un modèle d'organisation qui va servir de banc d'essai. Nous proposons donc d'étudier le comportement de nos agents dans un SAC minimaliste respectant les contraintes sociales telles que l'entend la SAO. Deux contraintes sont fondamentales :

- l'acteur social dispose toujours d'une marge de manœuvre, c'est-à-dire qu'il maîtrise au moins une relation,

- la relation n'est telle que dans la mesure où certains acteurs en dépendent pour réaliser leur activité.

Ainsi l'organisation minimale satisfaisant ces critères nécessite deux acteurs, chacun contrôlant une relation dont l'autre dépend plus ou moins suivant ses enjeux. Cette dépendance mutuelle a l'avantage de permettre l'étude de la coopération puisque sous certaines conditions la structure du jeu exhibe les propriétés d'un *dilemme du prisonnier*.

Au final notre protocole expérimental se décompose ainsi en deux phases. Premièrement, nous effectuons une exploration exhaustive de l'espace des paramètres des modèles d'apprentissage (*oubli/bonus, scope*), et de ceux du modèle d'organisation (les enjeux). Cette exploration amène à des situations sociales qui permettent d'étudier :

- la capacité des agents à coopérer, lorsque le jeu présente les contraintes s'apparentant à celles du dilemme du prisonnier
- la capacité des agents à agir de façon opportuniste pour les autres cas.

Deuxièmement, nous évaluons ces capacités par l'analyse des états de convergence et des stratégies y conduisant. Ainsi un modèle d'agent qui coopère alors qu'il pourrait être opportuniste, ou qui évite la coopération quand elle lui est avantageuse ne sera pas validé.

3.2 Un banc d'essai pour la validation des modèles de rationalité sociale

Nous considérons ici un banc d'essai permettant de tester les propriétés de base de l'acteur stratégique. Chaque acteur doit tendre à augmenter ou stabiliser sa position au sein du système, car comme le précise Friedberg il est *intéressé*, mais il est également poussé à satisfaire ses partenaires / adversaires dans une certaine mesure, au risque que ceux-ci rompent les relations dans lesquelles ils sont engagés. En d'autres termes le maintien de la coopération est indispensable à celui de la structure du SAC.

Nous considérons alors un SAC minimaliste composé de deux *Acteurs* et de deux *Relations* dans lequel les acteurs doivent être capable de développer intérêt individualiste et coopération. Les propriétés du SAC sont différentes suivant la distribution des enjeux de chaque *Acteur*. Dans cette sous-section, nous mettons en avant les caractéristiques du SAC qui permettent de créer les conditions favorables à l'émergence de la coopération. Le SAC minimaliste permet alors de décrire plusieurs structures de coopération, dont le fameux dilemme du prisonnier, ainsi que d'autres variantes, plus représentatives du monde social en ce qu'elles présentent une asymétrie de gain à l'issue de la coopération.

3.2.1 Version standard du dilemme du prisonnier

Le Dilemme du Prisonnier (DP) est un jeu initialement proposé dans les années 50 par les mathématiciens Merrill Flood et Melvin Dresher. Il se présente comme un jeu symétrique à deux joueurs, ici des prisonniers, ayant chacun la possibilité de jouer soit la coopération (C) soit la Défection, ou trahison, (D). Comme montré en table 2, chaque joueur reçoit une rétribution qui dépend du choix de chacun des deux joueurs. Si les deux joueurs coopèrent, ils recevront la récompense pour avoir coopéré (R) ; si les deux jouent la trahison, ils en seront punis (P) ; et si l'un coopère tandis que l'autre trahit, il est le stupide (S) tandis que l'autre recevra la rétribution de sa tentation (T).

Le DP est tel lorsque la tentation est plus profitable que la coopération mutuelle, qui rapporte plus que la punition, qui est plus avantageux que d'être le joueur stupide – $T > R > P >$

$S -$, et que de plus la somme des gains pour la coopération mutuelle (C, C) est plus importante que celle pour la trahison/coopération (D, C) – $R + R > S + T$. Ainsi, le dilemme est que la stratégie individuellement rationnelle (celle qui minimise les pertes) est de jouer la trahison, ce qui conduit les deux joueurs à l'équilibre de Nash (D, D), alors que la meilleure stratégie collective (celle qui maximise le total des gains) est de jouer la coopération mutuelle (C, C), qui conduit à l'optimum de Pareto.

	C	D
C	R, R	S, T
D	T, S	P, P

Table 24 - La matrice des rétributions pour le jeu du dilemme du prisonnier.

Le DP classique est d'un intérêt mineur comparé à sa version itérée dans laquelle chaque joueur peut appliquer des choix différents dans les confrontations successives et où les rétributions sont sommées. La version itérée du DP a été largement explorée et exposée ([Hoffman, 2000], [Delahaye, 1992], [Dugatkin, 1997], [Macy & Flache, 2002]) depuis le fameux tournoi proposé par Axelrod [Axelrod, 1992].

3.2.2 Le dilemme du prisonnier social

Considérons à présent un SAC comportant deux acteurs, $a1$ et $a2$, et deux relations $r1$ et $r2$ tels que :

- $a1$ contrôle $r1$,
- $a2$ contrôle $r2$,
- dans les espaces de choix des relations $r1$ et $r2$, - 1 correspond à la Défection, qui consiste à garder pour soi la totalité de la relation que l'on contrôle, et + 1 à la Coopération qui consiste à donner à l'autre la totalité de cette relation;
- les fonctions d'effet des relations sont à valeur dans [-1, +1] et elles sont à somme nulle, c'est à dire :
 - $\text{Effet}(r1, a1)(D) = 1 = - \text{Effet}(r1, a2)(D)$
 - $\text{Effet}(r1, a1)(C) = - 1 = - \text{Effet}(r1, a2)(C)$
 - $\text{Effet}(r2, a2)(D) = 1 = - \text{Effet}(r2, a1)(D)$
 - $\text{Effet}(r2, a2)(C) = - 1 = - \text{Effet}(r2, a1)(C)$
- $a1$ place davantage d'enjeux sur $r2$ que sur $r1$,
- $a2$ place davantage d'enjeux sur $r1$ que sur $r2$.

Ce jeu peut aussi s'interpréter comme la situation de deux personnes qui prennent l'apéritif ensemble, l'une détenant la bouteille du Pastis et l'autre le bocal d'Olives. La satisfaction que $a1$ et $a2$ obtiennent respectivement selon qu'ils jouent C (donner) ou D (garder pour soi) peut être représentée sous la forme de la matrice des paiements donnée en table 2, où $S_{r2, a1}$ dénote l'enjeu que l'acteur $a1$ place sur la relation $r2$, etc.

La répartition de leurs enjeux par les acteurs transforme ce jeu en un DP dans le cas où les quatre inégalités suivantes sont vérifiées :

$$\begin{aligned} T1 > R1 > P1 > S1 &; T2 > R2 > P2 > S2 ; \\ R1 + R2 > T1 + S2 &; R1 + R2 > T2 + S1. \end{aligned}$$

Compte tenu de la normalisation de la somme des enjeux de chacun des acteurs, c'est-à-dire $s_{r1,a1} + s_{r2,a1} = s_{r2,a2} + s_{r1,a2} = 10$, ces inégalités sont vérifiées dès que l'on a :

$$0 \leq s_{r1,a1} < 5 < s_{r2,a1} \leq 10 \quad \text{et} \quad 0 \leq s_{r2,a2} < 5 < s_{r1,a2} \leq 10,$$

c'est à dire dès que chaque acteur place davantage d'enjeux sur la relation dont il dépend (i.e. la relation qui est contrôlée par l'autre acteur) que sur celle qu'il contrôle : celui qui détient la bouteille de pastis préfère les olives et celui qui détient les olives préfère le pastis ! Pour une répartition symétrique des enjeux entre les deux acteurs telle que $s_{r1,a1} = s_{r2,a2} = 4$ et $s_{r2,a1} = s_{r1,a2} = 6$, on obtient la matrice de la table 3, dans laquelle $T = s_{r1,a1} + s_{r2,a2} = 10$, $S = -T = -10$, $R = s_{r2,a1} - s_{r1,a1} = 2$ et $P = -R = -2$. D'une façon générale, si le jeu est symétrique les valeurs des enjeux sont toutes liées et chacun des $s_{ri, aj}$ détermine la valeur des trois autres enjeux. On peut aussi remarquer que plus l'écart entre $s_{r1,a1}$ et $s_{r2,a1}$ est grand, plus l'équilibre de Nash (D, D) est insatisfaisant ; par exemple, pour $s_{r1,a1} = 2$ (et donc $s_{r2,a1} = 8$) on a $R = 6 = -P$.

		A_1	
		C	D
A_2	C	$R1 = s_{r2,a1} - s_{r1,a1}$ $R2 = s_{r1,a2} - s_{r2,a2}$	$T1 = s_{r1,a1} + s_{r2,a1}$ $S1 = -s_{r1,a2} - s_{r2,a2}$
	D	$S1 = -s_{r1,a1} - s_{r2,a1}$ $T2 = s_{r2,a2} + s_{r1,a2}$	$P1 = s_{r1,a1} - s_{r2,a1}$ $P2 = s_{r2,a2} - s_{r1,a2}$

Tableau 25 - Matrice des rétributions, pour les situations extrêmes du DP « sociale »,

	C	D
C	2, 2	10, -10
D	-10, 10	-2, -2

Tableau 26 - La matrice de paiement pour $s_{r1,a1} = s_{r2,a2} = 4$ et $s_{r2,a1} = s_{r1,a2} = 6$

Comme nous l'avons vu précédemment, les actions d'un acteur consistent à modifier la valeur des termes de l'échange des relations qu'il contrôle - en la déplaçant d'un certain quantum, positif, nul ou négatif, tout en restant à l'intérieur de l'espace de choix -, et non pas à choisir arbitrairement une nouvelle valeur indépendamment de la valeur courante. La valeur de ce quanta caractérise l'intensité de l'action. La version que nous qualifierons de « sociale » du DP permet aux acteurs d'adopter des comportements beaucoup plus nuancés que le tout ou rien, puisque toutes les valeurs intermédiaires de l'espace de choix entre le -1 de la Défection totale et le +1 de la Coopération intégrale leur sont autorisées. Il suffit pour cela de donner aux fonctions d'effet de $r1$ et $r2$ la forme plus générale suivante:

$$\begin{aligned} \text{Effet}(r1, a1)(te) &= -te = -\text{Effet}(r1, a2)(te), \quad \forall te \in [-1, +1] \\ \text{Effet}(r2, a2)(te) &= -te = -\text{Effet}(r2, a1)(te), \quad \forall te \in [-1, +1] \end{aligned}$$

ce qui donne, en notant te_i les termes de l'échange de la relation r_i :

$$\text{Satis}(a1) = te_2 * s_{r2,a1} - te_1 * s_{r1,a1} \quad \text{et} \quad \text{Satis}(a2) = te_1 * s_{r1,a2} - te_2 * s_{r2,a2}$$

Il est donc possible de tester l'aptitude à la coopération de façon beaucoup plus fine que

dans la version standard du dilemme du prisonnier.

3.2.3 Situations d'interaction permises par le banc d'essai

Le SAC minimaliste postulant au statut de banc d'essai permet de définir d'autre situation d'interaction que celle de *dépendance mutuelle* qu'implique le dilemme prisonnier classique et le dilemme du prisonnier étendu. La *Figure V.1* caractérise ainsi les différentes situations possibles en fonction de la part d'enjeux que chaque acteur accorde à la relation contrôlée par l'autre. Il est ainsi également possible d'étudier le comportement des acteurs dans leurs transactions quand :

- Un acteur est relativement dépendant et l'autre est indifférent à la situation du jeu : c'est une situation de *dépendance / équilibre* (assez peu probable dans un SAC).
- Un acteur est relativement dépendant, tandis que l'autre est relativement autonome : situation de *dépendance / autonomie*.
- Un acteur est relativement autonome et l'autre est indifférent à l'issue du jeu.
- Les deux acteurs sont relativement autonomes.
- Les cas de totale autonomie, de totale dépendance et d'indifférence généralisée sont écartés car non seulement ils sont triviaux, mais en plus ils ne correspondent à aucune réalité sociologique.

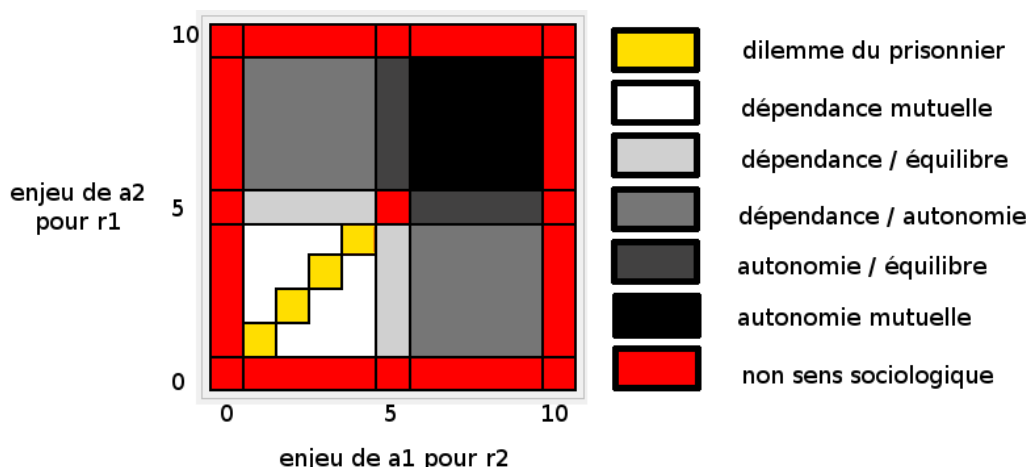


Figure V.2 - Les différentes situations d'interaction en permises par le SAC minimaliste du banc d'essai.

4 Un modèle de l'acteur « utilitariste » fondé sur la satisfaction

L'objectif est donc ici de proposer un modèle de la rationalité limitée de l'acteur social lui permettant d'adapter son jeu en fonction de celui des autres agents. L'agent adapte son comportement par l'apprentissage, non supervisée et en cours d'expérience²⁷, de règles comportementales dont il affine l'évaluation de leur opportunité en fonction des situations découvertes en cours de simulation. Le critère de révision de cette évaluation porte essentiellement sur la capacité de la règle à conduire l'agent dans une situation améliorant sa satisfaction. L'agent est ainsi motivé par un méta-objectif qui est la maximisation de sa satisfaction. En ce sens c'est bien un modèle de rationalité utilitariste de l'agent que nous

²⁷ On peut classifier les méthodes d'apprentissage en distinguant l'apprentissage supervisé de l'apprentissage guidé par un tuteur, et l'apprentissage en cours d'expérience (à chaud ou *online*) de l'apprentissage à la suite d'expérience(s) (à froid ou *offline*).

proposons. L'agent cherchera donc à maximiser sa capacité d'action afin d'être en mesure d'atteindre ses objectifs.

4.1 De l'utilitarisme

Par utilité, nous entendons utilité personnelle, une forme de celle mise en œuvre pour décrire les comportements des consommateurs dans les théories micro-économiques. Mais l'analogie s'arrête là, à la formulation mathématique et à la mécanique computationnelle qui propose un algorithme qui cherche à maximiser une fonction dépendant de l'état du système. Les différences sont multiples et seront énoncées au fil de ce document. Toutefois il en est deux remarquables. La première est que nous nous orientons vers un modèle de rationalité limitée telle que le propose Herbert Simon. La seconde est que ce que nous modélisons sous cette forme mathématique n'est nullement une maximisation du profit ou de l'utilité « creuse » ou « fourre-tout » de la microéconomie néoclassique, celle du profit maximum, cette notion détournée du sens originel posée par la philosophie utilitariste de Mill [Mill, 1961], mais une maximisation de la satisfaction au sens de [Blau, 1964] ou [Molm, 1991] (ou du pouvoir au sens de Friedberg ou Crozier) d'un acteur. La satisfaction est la mesure par un acteur de sa situation que nous interprétons comme une mesure des moyens dont il dispose pour atteindre les objectifs qu'il vise. La principale distinction entre l'utilité et la satisfaction est que celle-ci se décline sur trois plans : le plan individuel auquel nous préférons le terme de ego-centré, le plan du groupe ou socio-centré, et le plan moral, alors que l'utilité néoclassique ne se présente que sous une dimension individuelle.

D'autre part notre modèle de rationalité fondé sur la satisfaction se détache des conceptions du courant doctrinal de la philosophie utilitariste initié par Bentham [Bentham, 1789], puis Mill [Mill, 1861]. Dans ce courant, l'utilité est avant tout un principe éthique permettant de juger de la moralité d'une action en fonction du plaisir, pour Bentham²⁸, ou du bonheur, pour Mill, que cette action procure. Autrement dit l'homme par nature est en quête du plus grand bonheur, et il est possible de juger des actions de l'homme par ce que leur conséquences le rapproche ou l'éloigne de cet objectif. Le courant philosophique utilitariste a une posture normative (et une orientation prescriptive) à juger des actions selon leur conséquence vis à vis du « *plus grand bonheur pour le plus grand nombre* ». Le principal problème qui nous écarte de ce courant est l'aspect moraliste qui nous dépasse et pose des problèmes hors de notre portée notamment quant à la définition du bonheur. Par exemple si l'on considère dans la pensée de Mill que premièrement il est des qualités de bonheur différentes telles que « il vaut mieux être un homme insatisfait qu'un porc satisfait ; il vaut mieux être Socrate insatisfait qu'un imbécile satisfait » ; que secondement l'appréciation juste d'un tel bonheur, de qualité plus élevée, ne peut qu'appartenir avec certitude aux Socrate et autres individus de morale « noble » ; on est amené à se demander comment éduquer les imbéciles ou comment faire en sorte que les garants de l'utilité publique n'en soient point...

Si la philosophie utilitariste s'attache à juger des actions, une partie de la sociologie contemporaine s'attache aux raisons d'agir des acteurs. Alors que le point de vue holiste domina la sociologie en postulant que le fait social s'impose aux hommes, un nouveau point de vue met en avant la capacité de l'homme à influencer sur le phénomène social par les actions qu'il entreprend. L'individualisme méthodologique, porté entre autre par Boudon, s'intéressera donc à

28 *Introduction to the Principles of Morals and Legislation* dont la première édition date de 1790, définit l'utilité de la manière suivante : *Par principe d'utilité, on entend le principe selon lequel toute action, quelle qu'elle soit, doit être approuvée ou désavouée en fonction de sa tendance à augmenter ou à réduire le bonheur des parties affectées par l'action. [...] On désigne par utilité la tendance de quelque chose à engendrer bien-être, avantages, joie, biens ou bonheur.*

expliquer les phénomènes sociaux en reconstruisant les motivations sous-jacentes aux actions d'acteurs intentionnels. L'individualisme méthodologique ([Durand & Weil], p178-205) de Boudon, emprunte beaucoup à l'utilitarisme que ce soit l'utilitarisme de l'économie néoclassique et de l'optimisation sous contraintes pour son modèle du choix rationnel, ou celui de la philosophie utilitariste lorsqu'il défend le libéralisme²⁹. Boudon développe dans un premier temps un modèle de la rationalité assez instrumental (utilitariste) avec son modèle du choix rationnel. Il s'évertuera ensuite à se détacher de ce réductionnisme en s'intéressant aux raisons subjectives qu'ont les acteurs d'agir et introduira alors la rationalité axiologique (ou en valeurs) dans son « modèle rationnel général ». Les acteurs agissent ainsi parce qu'ils ont de bonnes raisons de le faire qu'elles soient d'ordre instrumentales - j'agis ainsi car cela augmente mon bien-être et que j'ai les moyens de le faire - ou d'ordre axiologique - j'agis ainsi car mes valeurs sont de bonnes raisons pour que j'agisse de la sorte même si cela me coûte.

L'intelligence artificielle en général et notre modèle en particulier s'inscrit dans une démarche de modélisation de la rationalité limitée teintée d'utilitariste [Russell, 1995]. Pour autant que notre modèle pourrait s'inscrire dans une démarche Boudonniste de par sa formulation rationnelle, il faut tout de même préciser son caractère heuristique. En effet le modèle de rationalité que nous proposons s'inscrit dans une structure de jeu, le système d'action concret, susceptible d'évoluer. L'acteur stratégique s'il est contraint dans son action par la structure de l'organisation, est aussi le moteur de sa production. Dit autrement, Crozier et Friedberg ont cherché à préciser les relations complexes existant entre l'acteur et le système, comment chacun est susceptible de transformer et contraindre l'autre, alors que pour Boudon la structure du jeu social est un donné. Notre modèle de rationalité ne donnant pas aux agents la possibilité de transformer la structure du jeu, il serait intéressant comme nous l'avions précédemment noté en conclusion du chapitre IV, de proposer des indicateurs permettant au sociologue d'expliquer des transformations de l'organisation qu'il a constaté, et des indicateurs lui permettant également de révéler les potentialités de transformations du système. D'autre part notre modèle de rationalité se base sur une évaluation de l'action qui n'est pas une mesure de l'intérêt individuel, c'est à dire l'utilité égoïste, mais sur une mesure combinée de l'impacte individuel et social qui incorpore également une dimension axiologique : la satisfaction.

4.2 Mécanisme à base de règle

Nous proposons ici un premier modèle du comportement stratégique des acteurs sociaux. Ce modèle s'inscrit dans une perspective de théorie du choix rationnelle ([Simon, 1969], [Simon & Newel, 1972], [Axelrod, 1984], [Coleman, 1990] [Boudon, 1999], [Lindenberg, 2005]) avec l'hypothèse que les acteurs agissent selon une rationalité limitée. Des travaux en simulation sur les approches à adopter pour les modèles d'agents (approche KISS³⁰ [Axelrod, 1997]) et d'acteurs sociaux [Lindenberg, 1992] orientent vers des choix d'une conception favorisant la description, c'est-à dire l'interprétation, plutôt que le réalisme du modèle. De ce fait des formalismes à l'interprétation difficile [Chattoe, 1998] comme les algorithmes génétiques ou les réseaux de neurones ont été écartés.

Par ailleurs, suite à la prescription de Rosaria Conte [Conte & Paolucci, 2001] parmi d'autres d'intégrer explicitement les processus sociaux "intelligents" aux modèles d'agents sociaux, il nous est apparu nécessaire d'implémenter un mécanisme d'apprentissage assurant

29 Pour Boudon « Le libéralisme se représente la société comme composée d'individus cherchant à maximiser leur bien-être » et le projet des libéraux est que « les règles du jeu social soient aussi équitable que possible » ([Durand & Weil, 2006] p.201). On retrouve bien ici le principe utilitariste du plus grand bonheur pour le plus grand nombre.

30 "Keep it simple and stupid"

l'adaptation et de fait une certaine plasticité comportementale de nos agents face aux perturbations de leur environnement relationnel. En effet, au sein des SAC, les acteurs sociaux sont amenés à gérer les perpétuels changements de stratégies de leurs partenaires et/ou adversaires. Plusieurs auteurs ([Macy & Flasche, 2002], [Takadama, 2003]) ont proposé et implémenté des algorithmes d'apprentissage mettant en œuvre plusieurs processus parmi lesquels :

- Les processus de facilitations sociales [Conte & Paolucci, 2001] sont des mécanismes d'apprentissage social de bas niveau où un agent observateur prend en entrée le comportement d'un autre agent et les événements qui le concernent afin d'adapter son comportement. Ces mécanisme n'impliquent pas de calculs sur les états mentaux de l'acteur observé.

- Les processus d'imitation utilisés entre autres par [Orléan, 1990] pour rendre compte des bulles spéculative dans le monde de la finance.

- Les mécanismes d'exploration stochastique [Flasche & Macy, 2002] qui permettent de découvrir des états aux propriétés sociales intéressantes, comme une coopération, par co-adaptation.

- Les mécanismes à base de seuil fixe (le *satisficing* de [Simon, 1969]), ou mobile ([March, 1991], [Flasche & Macy, 2002]), ego-centré ou socio-centré ([Schelling, 1971], [Granovetter, 1978]) qui permettent l'évaluation d'une situation par rapport à une norme, représenter par un seuil, qui peut évoluer au cours de la simulation.

- Les mécanismes de renforcement, du simple Q-learning [Watkins, 1989] appliqué à des jeux d'enchères [Takadama, 2003], jusqu'au complexe interac-DEC-POMDP de Vincent Thomas [Thomas, 2005].

Le point commun de ces approches est qu'elles s'intègrent facilement dans des architectures d'agent aux caractéristiques très simples qui, pour les travaux précités, se coordonnent par le marquage de l'environnement. Elles ne supposent pas de communications, ni de conventions ou de négociation d'un engagement pour tenter de résoudre des problèmes de coordinations, de gestion de conflit ou de coopération.

Nous nous sommes orienté sur un modèle d'apprentissage social utilisant les systèmes de classeurs ([Holland & Reitman, 1978], [Holland et al., 2000]). Un système de classeurs (ou CS pour Classifier System) est un modèle de résolution de problèmes généralement utilisé pour des classes de problèmes dont l'espace des états est de grande taille et dont les solutions sont multiples. A la fois simples à implémenter et à interpréter, ils se présentent comme un bon candidat pour débiter une modélisation par abstraction décroissante. Les systèmes de classeurs permettent aux joueurs d'apprendre des stratégies par renforcement de règles comportementales qu'ils inventent au hasard. Basé sur l'apprentissage par essai-erreur, le mécanisme permet à un agent de choisir une action efficace dans une situation donnée. L'évaluation de l'efficacité d'une règle se fait par le calcul d'une sorte de moyenne à court terme des effets au temps $t+1$ de l'action effectuée au temps t . L'approche présente, entre autres, l'avantage de faire très peu d'hypothèses sur les aptitudes requises pour être un acteur dans un SAC, et notamment elle ne préjuge pas de ce que seraient des règles explicites du comportement social. Par ailleurs, dans ce modèle nous n'utilisons pas d'algorithmes génétiques, comme il est d'usage de le faire dans la littérature des CS, pour les raisons déjà cités concernant l'interprétation difficile de ce mécanisme. Ainsi nous avons écarté le paradigme évolutionniste, pour nous focaliser sur la partie apprentissage par essais-erreurs.

Le modèle est une variante de Learning Classifier System (LCS). Un LCS est un système

en charge de la gestion des règles de comportement d'un agent qui constituent sa mémoire. Une règle est définie par un triplet <situation, action, force >, où :

- *situation* est une liste, constituée du solde de chaque relation dont l'acteur dépend,
- *action* est une liste, constituée d'un incrément applicable au terme de l'échange de chacune des relations qu'il contrôle,
- *force* est une valeur numérique qui indique l'efficacité de la règle.

Le cycle sensori-moteur de l'agent se décompose en un ensemble de processus qui sont la perception de l'environnement, l'évaluation de la situation, la rétribution, l'oubli, la comparaison, la génération éventuelle d'une nouvelle règle, la sélection et le déclenchement de l'action :

- **La perception de l'environnement** : au temps t et pour une situation s , un agent a perçoit le vecteur de ses soldes $p_t(s, a)$.
- **L'évaluation de la situation**, au temps t , consiste à calculer le delta de satisfaction, que l'on nommera *bilan*. Trois cas seront alors considérés, sans prendre en compte l'intensité du *bilan* : un *bilan* positif, un *bilan* négatif et un *bilan* nul. Du point de vue de l'agent, faire ce calcul suppose la perception non (ou du moins modérément) bruitée de ses soldes, la connaissance de ses enjeux, et la mémorisation de la satisfaction au temps $t-1$.
- **La rétribution** de la règle R utilisée au temps $t-1$, est fonction de l'évaluation de la situation au temps t . Elle consiste au renforcement positif ou négatif de la force de la règle R par un incrément de valeur *bonus*, ou un décrétement de valeur *-bonus*. Le renforcement positif est déclenché par un *bilan* positif ou nul, et le renforcement négatif par un *bilan* négatif. La force des règles est contrainte au domaine de valeur $[0; \text{force_max}]$. Une force nulle ou négative (efficacité nulle) est ainsi amenée à être supprimée. Le fait de disposer d'une limite supérieure pour la force des règles garantit une limite supérieure au nombre d'utilisations successives d'une règle de bilan négatif. Cela permet à l'agent une adaptation rapide de son comportement face aux changements de stratégie des autres acteurs.
- **L'oubli** est à la fois le processus consistant à diminuer la force de toutes les règles d'une certaine valeur et le nom de cette valeur. Le processus est appliqué à chaque tour. Il permet d'affaiblir les règles peu utilisées. L'hypothèse sous-jacente est que, dans un environnement de forte entropie, les chances de maintenir la pertinence d'une règle diminuent avec le temps. L'*oubli* est défini pour $]0 ; \text{bonus}[$, ce qui permet de ne pas parasiter le processus de rétribution (cas où $\text{oubli} \geq \text{bonus}$). Une autre heuristique d'application de l'oubli, dont nous n'approfondirons pas l'étude dans ce mémoire, consiste à décrétement la force des règles dont la situation est proche de la situation rencontrée. On suppose alors ici que l'entropie du système est locale, et que les comportements pertinents appris pour d'autres situations restent valables.
- **La suppression** des règles s'applique, après le processus d'oubli, pour toutes les règles de force négative ou nulle. N'étant plus pertinentes, l'agent les oublie. Une alternative à la suppression [Mailliard et al., 2003] est de mémoriser les règles de force négative afin d'éviter les comportements qui y sont associées. Cette solution est beaucoup plus coûteuse en mémoire puisqu'elle maintient une base de connaissance de tous les essais d'action pour chacune des situations rencontrées, à la manière du Q-learning ou des systèmes XCS. Le processus d'oubli est alors adapté pour prendre en compte le cas des règles de force négatives, pour lesquelles on incrémentera la force (dans la limite de la valeur nulle), tandis qu'on la décrémente pour des règles de forces positive. Nous avons privilégié la première

approche en raison des choix sus-cités d'un modèle simple, où les agents ne mobilisent au final que de peu de règles. Par ailleurs les approches de type XCS ou Q-learning se basent sur une évaluation moyennée des effets de l'action tout à fait inadéquate pour les systèmes multi-agents (cf. [Littman 1994]).

- **La comparaison**, ou *matching*, consiste en l'appariement des règles connues avec la situation présente par un calcul de proximité entre les situations. La proximité entre deux situations est alors définie par le calcul d'une distance euclidienne³¹ entre les deux situations et une règle sera retenue si cette distance est inférieure à la valeur du paramètre *scope*. Le paramètre *scope* est un paramètre important du modèle qui sert à calibrer la finesse de perception de l'agent. Plus sa valeur est petite et plus l'agent distinguera de situations différentes. A l'inverse une valeur élevée conduit l'agent à distinguer uniquement quelques situations, voire une seule. Une solution pour fixer ce paramètre est de lui donner la valeur DM/N où N est le nombre de situations que l'agent peut distinguer et DM la distance entre la situation de satisfaction minimale et la situation de satisfaction maximale de l'agent. Pour $N = 5$, l'agent pourra distinguer (approximativement) 5 situations : *très mauvais*, *mauvais*, *moyen*, *bon*, *très bon*. La comparaison permet au final de produire l'ensemble M (*matching rules*) des règles dont la partie situation est proche de la situation perçue.

- **La génération** d'une règle produit une nouvelle règle quand aucune règle ne correspond à la situation perçue ($M = \emptyset$). La génération de règle est donc déclenchée après la comparaison. La nouvelle règle est alors initialisée avec la situation courante, une action tirée aléatoirement et une force initiale dont la valeur doit permettre d'appliquer la règle un minimum de fois (fixée à deux fois le *bonus* pour les simulations qui suivent sections 3 et 4).

- La sélection et le déclenchement de l'action. Il s'agit de choisir la règle la plus forte parmi les règles proches de la situation perçue s'il en existe une, et la règle nouvellement générée sinon. L'agent déclenche ensuite l'action associée à cette règle. L'action est envoyée sous forme d'un message ou événement au simulateur qui appliquera l'effet de cette règle à l'environnement (les relations) en fonction du mécanisme d'ordonnancement.

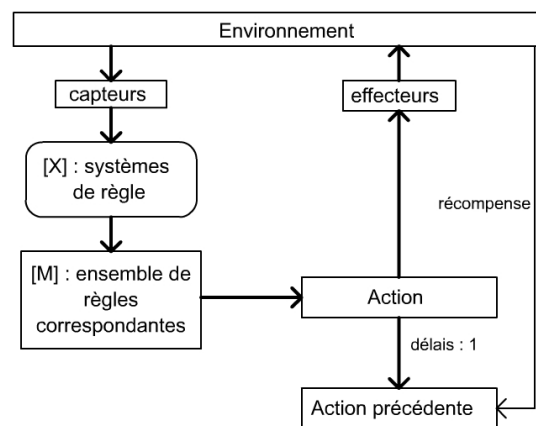


Figure V.3 - Le système de classeurs utilisé.

Au final le cycle sensori-moteur (Fig1) de l'agent se déroule comme suit :

- Appliquer un facteur d'oubli à toutes les règles, en diminuant un peu leur force, et supprimer les règles dont la force est négative.
- Comparer sa satisfaction courante avec celle de l'étape précédente et renforcer en conséquence la règle précédemment appliquée.

31 L'option d'une distance de Manhattan déjà évoquée aurait toutefois méritée une investigation.

- Sélectionner les règles applicables, celles dont la situation est proche de la situation courante de l'acteur, et parmi elles choisir la plus forte.
- Si aucune règle n'est applicable, créer une nouvelle règle.
- Appliquer l'action de la règle choisie, ou de celle qui vient d'être créée.

Ordonnancement

La dynamique du jeu s'exécute lors de simulations. Une simulation consiste à activer itérativement les joueurs jusqu'à ce que leurs comportements se stabilisent parce qu'ils sont satisfaits. Concernant la gestion des interactions agents-environnement, nous avons opté pour un ordonnancement simulant le parallélisme de la perception des états et de l'application des actions. Ainsi à chaque tour de jeu tous les agents perçoivent la même situation, chacun peut décider d'une action, et toutes ces actions modifient l'environnement au même moment. Ce cycle se répète jusqu'à ce que le nombre limite de tours de jeu soit atteint, ou que tous les agents soit satisfaits. Pour ce modèle, le critère de satisfaction d'un acteur est de maintenir son comportement, c'est à dire d'appliquer une règle dont l'action est nulle sur chacune des relations qu'il contrôle. L'hypothèse est qu'un acteur qui est satisfait n'a pas de raison de changer de comportement.

Afin que l'action nulle puisse être générée, nous avons discrétisé l'espace des états des actions. Nous avons également jugé pertinent de discrétiser les fonctions d'effet. Le principe est intéressant en terme de temps de calcul puisque la fonction est stockée sous la forme d'un tableau et que la valeur du solde est accessible directement sans avoir à la recalculer à chaque fois. La discrétisation des fonctions d'effet doit cependant être calibrée sur celle de l'action. Nous avons ainsi découvert un biais amusant, surnommé *l'effet du fumeur*³², dont l'interprétation est somme toute intéressante. L'effet apparaît quand les actions sont discrétisées au 1/100 alors que les fonctions d'effet le sont au 1/10. Alors, dans certaines situations, cela dépend du modèle, un acteur ne va pas renforcer négativement une règle inefficace tout simplement parce que les changements dûs aux actions des acteurs (et à la sienne) sont tellement faibles que son solde ne change pas, alors que l'état de la relation évolue. En d'autre terme l'agent ne perçoit pas les changements infimes où en tout cas ne tient pas compte de leurs effets, un peu comme le fumeur ne se rend pas compte de l'effet nuisible sur sa santé quand il fume une cigarette. Le solde de l'agent n'évoluant pas, il va alors renforcer cette règle jusqu'à se rendre compte du changement et de l'effet négatif, un peu comme un fumeur qui tousse. Mais le renforcement négatif de la règle ne va pas compenser la séquence de renforcements positifs qui a précédé, un peu comme un fumeur qui a développé son addiction. L'agent répètera ainsi l'action associée à cette règle jusqu'à ce que, en fonction du paramètre *scope*, il se trouve dans une autre situation, nouvelle ou déjà rencontrée, pour laquelle la règle ne sera pas applicable.

4.3 Algorithme

Nous pouvons alors décrire l'algorithme de déroulement d'une simulation. Soient les données d'un jeu social :

- R : l'ensemble des relations du jeu
- A : l'ensemble des acteurs du jeu
- S : ensemble des états du jeu

32 A posteriori, il s'agirait en fait d'une redécouverte de l'allégorie de la grenouille, qui, insensible aux faibles écarts de température, serait susceptible de mourir ébouillantée sans réagir. L'allégorie de la grenouille illustre des phénomènes de prise d'habitudes en situation de crise.

- $P : P \subset [-10; 10]^{|R|}$, l'ensemble des états perçus du jeu,
- Π_a : l'ensemble des règles qu'un acteur peut appliquer. $\pi \in \Pi_a$, est une règle de la forme $(p, (action_r)_{r/control(r, a)}, force)$, telle que $p \in P$, $action \in [-2 ; 2]$, $force \in \mathbb{R}^+$.
- M_a : la mémoire d'un acteur a , $M_a \subset \Pi$.

Soient les fonctions :

- $p(s, a) : S \times A \rightarrow P$, la fonction de perception de l'acteur a telle que

$$p(s, a) = p((te_r)_r, a) = (Effet_r(a, te_r))_r$$
- $control(r, a) : R \times A \rightarrow \{\text{faux ; vrai}\}$: renvoie vrai si l'acteur a contrôle la relation r , et faux sinon.
- $d_a(s, s') : P \times P \rightarrow \mathbb{R}^+$: distance euclidienne dans l'espace des soldes distordu par les enjeux que l'acteur a pose sur chaque relation
- $M_a(p, scope)$: ensemble des règles π de M_a que a peut appliquer lorsque $d_a(p(s_t, a), p_\pi) \leq scope$, où s_t est la situation au temps t , et p_π est la composante perception p de la règle π .

Soient les paramètres du modèle de rationalité :

- $scope$: finesse de distinction des états du jeu.
- $bonus$: incrément ou décrément de la force d'une règle.
- $oubli$: décrément des règles à chaque tour.
- $force_0$: force initiale d'une règle.
- $force_max$: la force maximum d'une règle.

Enfin le nombre de tour maximum est fixé par le paramètre max_step .

L'algorithme du simulateur est alors donné en Tableau 26.

<p>Step $\leftarrow 0$</p> <p>Tant qu'il existe un acteur a insatisfait ou que $step < max_step$</p> <p> Pour chaque acteur a de A</p> <p> 0) Percevoir</p> <p> $p_{s,t} \leftarrow p(s_t, a)$</p> <p> 1) Mettre à jour son bilan</p> <p> $bilan_t \leftarrow satis_t - satis_{t-1}$</p> <p> 2) Mettre à jour les règles du système de classeur</p> <p> a) Rétribution</p> <p> si $bilan \geq 0$ alors $force_{r\grave{e}gle\ choisie_{t-1}} \leftarrow force_{r\grave{e}gle\ choisie_{t-1}} + bonus$</p> <p> si $bilan < 0$ alors $force_{r\grave{e}gle\ choisie_{t-1}} \leftarrow force_{r\grave{e}gle\ choisie_{t-1}} - bonus$</p> <p> b) Oubli</p> <p> Pour chaque règle $\pi \in M_a$</p> <p> $force_\pi = force_\pi - oubli_t$</p> <p> c) Suppression de règles</p> <p> Pour chaque règle $\pi \in M_a / force_\pi \leq 0$</p> <p> $M_a \leftarrow M_a - \pi$</p> <p> 3) Choisir une action</p>

```

    si  $M_{a,s} \neq \emptyset$  alors règle_choisiet ← au_hasard_dans( $M_{a,p_s,t,scope}$ )
    sinon règle_choisiet ← ( $p_{s,t}$ , ( $\text{au\_hasard}() * \text{intensité}$ )r, force0)
     $M_a \leftarrow M_a \cup \text{règle\_choisie}_t$ 
    Pour chaque acteur  $a$  de  $A$ , pour chaque relation  $r$  de  $R$ 
        appliquer action(  $r$ , règle_choisiea)

```

Table 27 - Pseudo code de l'algorithme de rationalité s

Nous avons ainsi réalisé un modèle de comportement de l'agent simple permettant de représenter la rationalité des acteurs sociaux. Ce modèle prend en compte à la fois les principes de rationalité limitée et de rationalité stratégique telle que la postule Crozier et Friedberg pour les acteurs sociaux. L'agent est ainsi stratégique puisqu'il cherche à apprendre les règles qui augmentent ou maintiennent sa satisfaction, c'est à dire celle qui lui permettent d'accroître sa capacité d'action. Sa rationalité est également limitée car :

- l'agent n'a qu'un accès limitée et ambigu à l'information. Il ne perçoit que ses soldes et un même état de solde peut se présenter pour plusieurs états distinct d'une relation. La finesse de sa perception est de plus conditionnée par le paramètre *scope*.
- L'agent dispose d'une mémoire limitée, conditionnée par les paramètres *scope* et *bonus*.

Le modèle réalisé, il est nécessaire de procéder à une phase de vérification et de validation. La phase de vérification n'est pas présentée ici. Elle est étroitement relié au processus de validation. La vérification permet de bien comprendre le comportement du modèle, et la validation peut mettre à jour des comportements non spécifiés. Au cours de la vérification du modèle nous avons découvert un nombre important de bugs, redécouvert les biais de l'arithmétique en virgule flottante [Goldberg 1991], et pris acte des conséquences de la discrétisation des valeurs dans un modèle conçu pour opérer sur des variables continues (*effet du fumeur*). Nous présentons la validation dans la section suivant.

4.4 Expérimentations

Les expérimentations mené ici ont pour but de valider le modèle de rationalité proposé en s'attachant notamment à l'observation des condition d'émergence de la coopération dans des structures *dilemme du prisonnier social*. Au vu des résultats peu probant, le rôle de cette section est avant tout d'illustrer la démarche d'exploration de l'espace des paramètres que nous proposons, et que nous ne réutilisons malheureusement pas pour le modèle suivant faute de temps pour automatiser le processus quelques soient les paramètres étudiés.

4.4.1 Protocole expérimental

Nous avons conduit une exploration systématique pour deux types de paramètres du modèle. Le premier ensemble de paramètres concerne directement le modèle sociologique. Il se compose des enjeux de chaque acteur pour la relation qu'il contrôle (et qui détermine sont enjeu pour l'autre relation, puisque la somme des enjeux de chaque acteur est normalisée). Afin d'accélérer le temps de calcul du grand nombre de simulations, nous avons pris en compte la nature symétrique de la matrice des rétributions (Tableau 25) que nous souhaitons explorer.

Celle-ci nous permet de présenter plusieurs observations pour toutes les valeurs entières possibles pour chaque enjeu, c'est à dire pour chaque situation d'interaction possible (voir *Figure V.1* en section 3.2.3). Les valeurs de la matrice sont représentées graphiquement par des niveaux de gris, permettant ainsi à l'observateur de rapidement visualiser et comparer toute l'information disponible, c'est à dire 66 données pour chaque matrice. Par soucis de visibilité, nous appliquons parfois un filtre de contour.

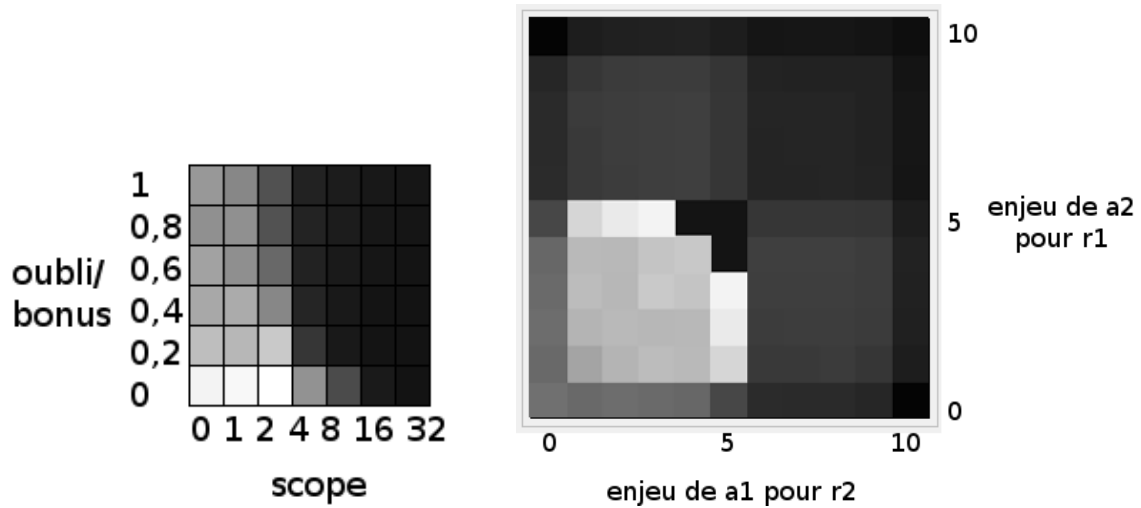


Figure V.4 - Exemple d'observations de données dans la matrice de paramètres (§ gauche) et dans la matrice d'enjeux (§ droite).

Le second ensemble de paramètres concerne le modèle d'apprentissage. Nous explorons l'espace des phases pour le paramètre *scope* et pour le rapport entre les paramètres *oubli* et *bonus* comme suit. *scope* est un paramètre essentiel qui permet à l'agent d'explorer et d'apprendre à partir de situation dans l'espace des phases. Plus *scope* est grand moins l'exploration est fine. Les valeurs possibles que nous avons choisies pour explorer *scope* sont graduées sur une échelle logarithmique 0, 1, 2, 4, 8, 16, 32. La valeur limite 32 amène l'agent à considérer tout les points de l'espace des phases comme indifférencié, tandis que la valeur de l'extrême opposé, 0, amène l'agent à considérer chaque situation comme irréductible aux autres, ce qui a comme conséquence de multiplier le nombre de règles apprises. Le rapport *oubli/bonus* est également essentiel parce qu'il permet de renouveler la population de règles dont la composante situation correspond à la situation courante. Une valeur élevée de ce ratio conduit à un renouvellement rapide de la population. A l'opposé une valeur basse du ratio ralentira l'adaptation des agents. Les valeurs du ratio retenues vont de 0 à 1 par paliers de 0,2, c'est à dire 6 valeurs. Le paramètre *bonus* est fixé à 5.

Nous avons produit 50 expériences pour chaque quadruplet de paramètre {enjeu_du _contrôleur_de_r1, enjeu_du _contrôleur_de_r2, *scope*, *oubli/bonus*}. Pour chaque modèle et pour chaque quadruplet, nous avons observé les valeurs suivantes : la moyenne et l'écart type des valeurs à convergence dans une limite maximum de 200 tours et le nombre de convergence vers une situation CC (give_give), CD/DC(give_take / take_give), DD(take_take).

Toutes les simulations ont été implémentée sous SocLab (cf. chapitre VII), et la plupart de l'analyse des données a été réalisée sous Mathematica.

4.4.2 Résultats

Pour traiter du nombre importants de données issues des résultats, nous avons utilisé une

méthode originale de représentation sous forme de matrice de matrices. Cette méthode [Mailliard & al., 2005], apparemment [Amblard, 2006] utilisée par d'autres chercheurs [Bedeau, 2006], est dédiée à l'exploration de l'espace des paramètres; Elle permet une représentation synthétique dans le plan des résultats concernant une variable ou d'un indicateur en fonction des valeurs de quatre paramètres du modèle. Le principe est de construire une matrice dont les lignes et les colonnes sont indicées par les deux premiers paramètres (*Figure V.4*), et dont chaque cellule est une matrice indicée par les deux autres paramètres dont chaque cellule contient la valeur de la variable observée représentée par des niveaux de gris (*Figure V.5*). Ainsi la matrice générale est indicée par différentes valeurs croissantes de *scope* (colonnes) et de *oblivion/bonus* (lignes), et chaque *matrice-cellule* est indicée différentes valeurs croissantes de l'enjeu de l'acteur *a1* sur la relation *r1* (colonnes) et de l'enjeu de l'acteur *a2* sur la relation *r2* (lignes). Nous avons analysé le temps moyen de convergence et son écart type pour chaque jeu de paramètres et pour 50 simulations (*Figure V.5*), ainsi que les fréquences d'occurrence de chacune des trois paires de stratégies conduisant à un équilibre (*Figure V.2*). Les niveaux de gris permettent une analyse comparative rapide, le blanc représentant la valeur la plus élevée et le noir la valeur la plus faible.

Comme nous pouvons l'observer sur la matrice des moyennes, sur la figure *Figure V.5*, le paramètre *scope* a tendance à accélérer la convergence des simulations quand sa valeur augmente. Le ratio oubli/bonus accélère également la convergence pour une valuation comprise entre 0.2 et 0.6. Il apparaît également sur la matrice d'écart type (*Figure V.3*), que lorsque *scope* décroît, son écart type a une claire tendance à augmenter. Ainsi, globalement, et pour un quadruplet de paramètres donné, les agents prennent plusieurs voies pour adapter leur comportement les uns aux autres, dès fois rapidement et d'autres fois plus longuement.

Une autre observation visuelle présente dans les deux matrices, de moyenne et d'écart type, est une transition de phase distincte qui apparaît étrangement dans l'aire des jeux où les contraintes du dilemme du prisonnier sont pleinement ou quasi-satisfaites. La convergence dans cette région est nettement plus lente et l'issue des résultats plus variée que dans les autres régions.

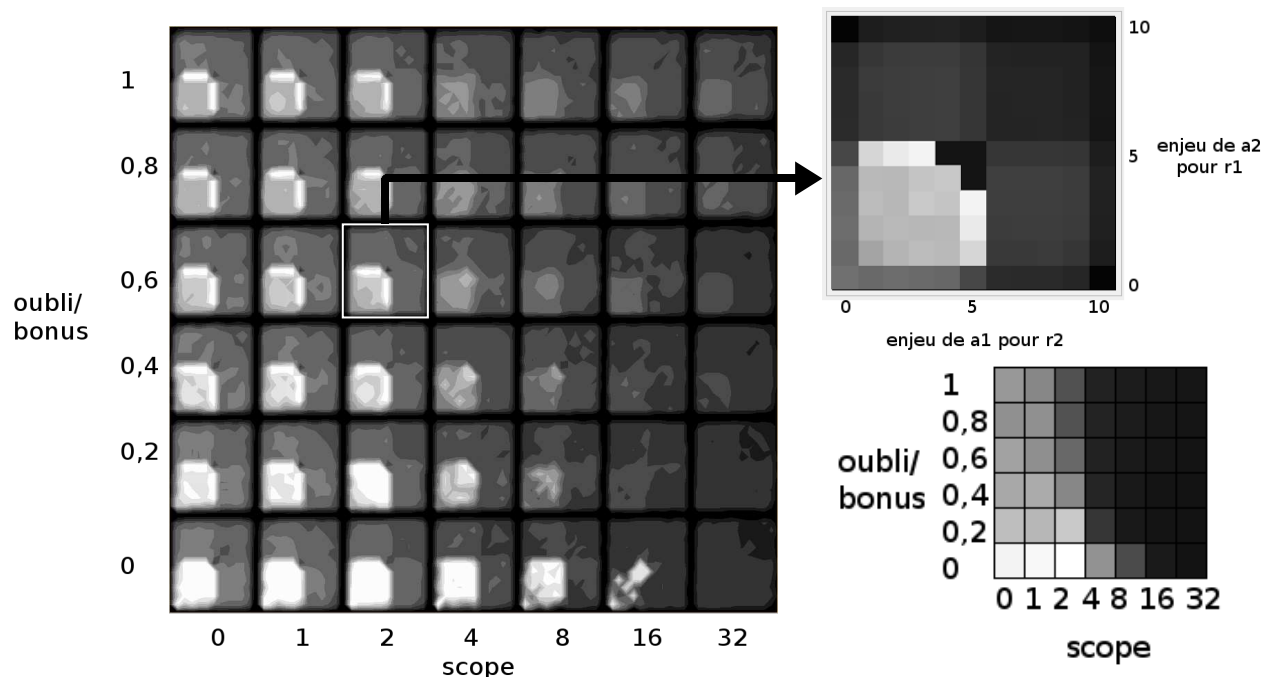


Figure V.5 - Observations de la moyenne du temps de convergence des simulations. Une nette transition de phase apparaît dans l'aire des jeux où les contraintes du DP sont (quasi-)satisfaites.

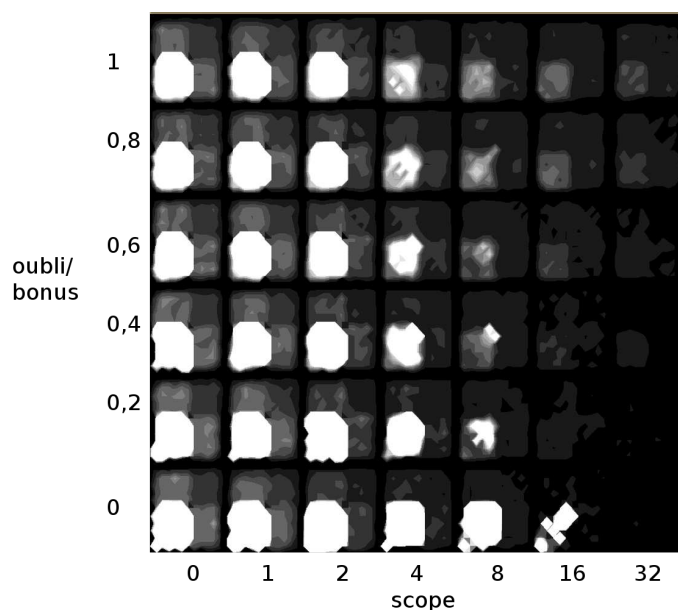
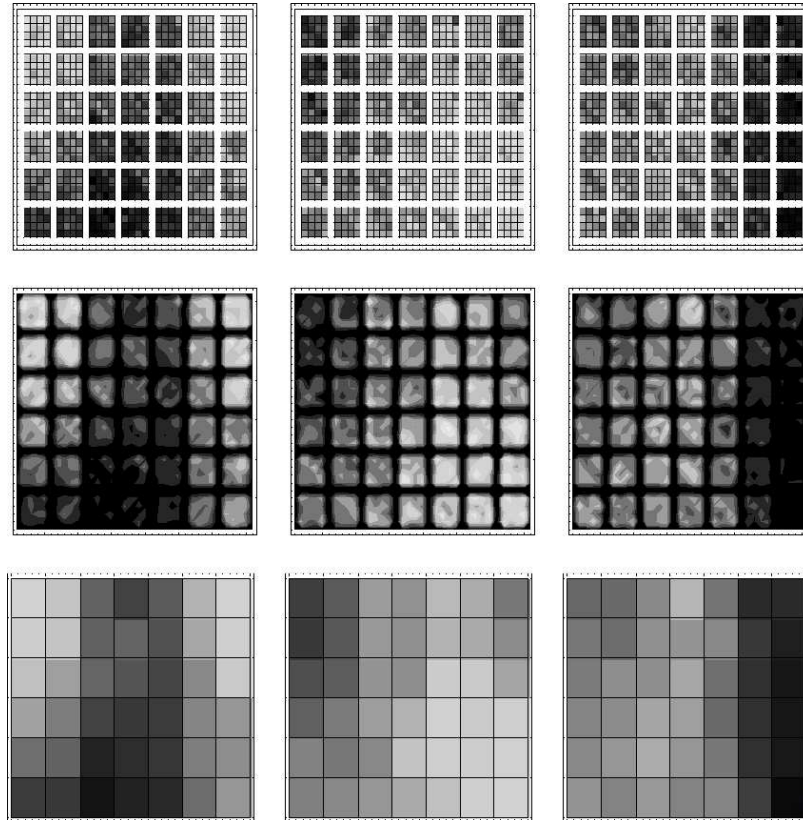


Figure V.6 - Observations de l'écart type (2) du temps de convergence des simulations. On observe la même transition de phase que pour la convergence moyenne.

Analysons les fréquences de convergence vers les situations caractéristiques CC, CD/DC et DD, qui correspondent à la répétition d'une paire de stratégie (Figure V.2). Il apparaît globalement que la paire DD émerge le plus fréquemment (Figure V.2-(2)). Si nous effectuons une analyse plus précise nous pouvons noter que : les paires de stratégies CC (Figure V.2-(1)) émergent plus fréquemment quand scope est supérieur à 8 et quand le ratio oubli/bonus augmente ; les paires de stratégies DD émergent plus fréquemment quand scope est strictement supérieur à 1 et que le rapport oubli/bonus décroît ; les paires CD/DC (Figure V.2-(3)) émergent plus fréquemment quand scope est inférieur à 16 et que le ratio oubli/bonus croît.



(1) % de convergence CC

(2) % de convergence DD

(3) % de convergence CD/DC

Figure V.7 - Observations des fréquences d'émergence de paires de stratégies. Les enjeux des cellules-matrices varient de 1 à 4.

L'observation globale finale est que la paire de stratégies CC est la paire la moins facile à apprendre.

4.4.3 Explication de la transition de phase observée

Le seuil observé correspond au passage d'une situation de dépendance mutuelle, où chaque acteur a besoin d'une relation 'qu'il ne contrôle pas, vers une situation de dépendance asymétrique ou d'indépendance mutuelle. Les temps rapides de convergence pour les situations d'indépendance (enjeux > 5) s'explique car les delta de satisfaction d'un acteur dépendent uniquement de son action : pour chaque nouvelle situation, il y a une chance sur deux de changer de comportement (jouer C parmi C ou D). Pour les cas de dépendance mutuelle, le delta de satisfaction dépend des actions des deux acteurs. Pour chaque situation il y a également une chance sur deux de changer de stratégie (CD ou DD parmi CD, DD, DC, CC), mais dans l'autre cas, il y a en plus une chance sur deux que l'autre acteur change de stratégie (DC parmi DC et CC). Il n'y a au final trois chances sur quatre de changer de stratégie, c'est le coût de coordination de la coopération.

4.4.4 Validation du modèle ?

Notre exploration exhaustive de l'espace des paramètres a permis de se rendre compte pour quelles valeurs de paramètres l'émergence de la coopération est possible. Les valeurs de ces paramètres qui la permettent sont assez restrictives. En effet, dans ce modèle l'émergence de la coopération est tributaire d'une valeur élevée du paramètre *scope* qui contraint l'agent à ne

distinguer qu'une seule situation, et donc à ne disposer que d'une seule règle d'action. S'il est possible de se contenter de cette contrainte pour le présent cas, il n'en demeure pas moins que la perception et la mémoire plus que réduite de ces agents est un frein à leur adaptation dans le cadre de structures d'interaction plus complexes. Le modèle ne se révèle ainsi adéquate pour être utilisé comme un modèle de l'acteur stratégique puisque la nécessaire capacité à la coopération n'est accessible qu'au prix d'une adaptabilité réduite. Si l'issue de cette validation est de disposer d'un modèle de rationalité trop limitée, le cheminement a toutefois permis de développer une méthode de représentation originale et efficace des résultats.

5 Un modèle de rationalité orientée vers la coopération

... ou comment la coopération est sous tendue par les individus, tel aurait pu également être le titre de cette section. Ce que nous présentons ici est la construction par abstraction décroissante d'un modèle de rationalité tendant vers la coopération des acteurs.

Nombre de travaux scientifiques portant sur la notion de coopération, que ce soit en biologie, en éthologie, en sociologie, en science politique, en économie, en intelligence artificielle, ..., il nous incombe de préciser ce que nous entendons derrière le terme de coopération, quel est son lien avec la notion de rationalité. Précisons que nous présentons une vision « naïve » en regard des débats philosophiques sur la question. Certains points de vue philosophiques sont pourtant éclairants. Nous nous inspirerons et emprunterons essentiellement à Denis Vernant qui, dans la lignée des philosophes du langage, a développé une réflexion sur le paradigme actionnel en tenant compte de la nature toujours collective et transactionnelle de l'action.

5.1 De la coopération

Les définitions classiques des dictionnaires définissent la coopération comme le fait d'agir ou travailler ensemble, avec les autres. La portée sémantique du « avec » prête toutefois à confusion. Si j'agis avec les autres, comment le fais-je et à quelles fins? Si « nous fuyons les CRS », est-ce que l'agir *avec les autres* est du même ordre que si « nous poussons la voiture », ou que si « je joue à la capoeira avec Guillaume » ? La variation de ces modalités d'*agir avec* tient essentiellement au type de coordination, et à la régulation du processus collectif.

Ainsi lorsque « nous fuyons les CRS » l'action s'inscrit dans un mouvement collectif dont la coordination des individus, plus précisément celle de leurs objectifs et de leurs stratégies individuelles, n'est pas concertée. Dans les cas où la coordination n'est pas délibérée mais induite par les circonstances ou prédéterminée par un dispositif social, c'est à dire lorsque l'action n'est pas ou faiblement organisée, on parlera d'*action plurielle*.

A la différence du précédent cas, si « nous poussons la voiture » ou si « je joue à la capoeira avec Guillaume », la coordination de l'action est concertée, par une requête d'assistance suivie d'une ou plusieurs acceptations dans le premier cas, par un protocole flexible de sélection des partenaires/adversaires et par le rythme imposé par la musique dans le second. Dans les deux cas la coordination s'établit dans l'interaction entre les agents en un processus plus ou moins réglé et finalisé qu'ils connaissent et acceptent peu ou prou : ils y sont engagés. On parlera alors d'*action coopérative*.

Ainsi pour pousser la voiture, il y a un projet communément partagé par les participants : faire redémarrer celle-ci ou la déposer à un endroit qui ne perturbera pas la circulation. Les stratégies individuelles sont identiques, et l'objectif connu, il s'agit d'exercer des forces réparties par chacun à l'arrière de la voiture afin de la pousser. Quand les stratégies sont identiques il est

question d'*action commune*. Une autre caractéristique de ce type d'action est la nature prévisible des interactions (on préférera par la suite transaction) et des possibles issues.

Lorsque « je joue à la capoeira avec Guillaume » la situation est quelque peu différente. Bien sûr chaque joueur connaît les règles et objectifs, à savoir, multiplier les situations de dominance sur le partenaire/adversaire³³ tout en assurant le spectacle d'une joute corporelle rythmée par la musique et les chants des capoeiristes formant la ronde : il n'est pas question de dominer l'autre en le bloquant mais en maintenant avec lui le dialogue. Outre le fait que les actes des joueurs sont différents, ce qui marque la différence de cette coordination est le caractère fortement imprévisible de cette interaction. Ainsi lorsque la coordination se constitue dans l'interaction, qu'elle en émerge, on parle d'*action conjointe*.

	Type d'Action Collective	Stratégies Individuelle	Coordination	Actes	Exemple
	Plurielle	ego-située	imposée	différents	Fuite collective
Actions coopératives	Commune	socio-située	concertée (planifiée)	identiques	Pousser une voiture
	Conjointe	socio-située	chemin faisant (émergente)	différents	Jouer à la capoeira

Tableau 28 - Catégorisation des actions collectives.

Les catégories utilisées ici pour définir et distinguer les différentes formes d'action coopérative sont empruntées ou dérivées de la philosophie du langage ([Austin, 1962], [Grice, 1975], [Searle, 1985], [Vernant, 2005]). Elle ne font pas forcément écho à leur sens commun et leur sens n'est pas forcément commun aux différents paradigmes qui y font référence. Le caractère collectif des actions ou des mouvements amène en outre à bon nombre de questions telles que la place du temps et de l'espace, des formes d'organisations qui les soutiennent, leur formalisation et institutionnalisation, leur visée, comme le met en évidence Daniel Cefaï [Cefaï, 2007] lorsqu'il pose la question de ce qu'est un mouvement collectif. Comme il le rappelle, le « collectif » est traité par un pan de la recherche qui l'a constitué comme une « énigme philosophique », il n'est donc pas ici question de résoudre cette énigme à la lueur de nos faibles lumières en la matière.

L'objectif de cette catégorisation est de sortir des conceptions classiques de la coopération qui, à bien y penser, ne font que projeter les valeurs morales de l'altruisme dans l'action coopérative, et de rappeler que le seul (méta-)objectif réellement commun est la volonté de maintenir le lien social. Il y a autant de conflits d'intérêt, et d'antagonismes dans la coopération qu'il peu y avoir d'altruisme, et d'échange de services ou de dons : la coopération n'est pas qu'une résolution collective de problème. Ainsi je ne me priverai certainement pas de faire une balayette

33 La capoeira, de par ses origines, est à la fois art martial, danse et jeu. Le jeu s'organise sous la forme d'un affrontement entre deux joueurs pouvant se déplacer à l'intérieur d'une ronde (*roda*) de capoeiristes et de musiciens. Les joueurs s'affrontent, se défient, et surtout *jouent avec* l'autre, c'est le terme employé par les praticiens. La beauté du combat est soumise à des valeurs ou principes d'échanges essentiellement fondés sur la fluidité du mouvement conjoint des joueurs coordonnée par le rythme de la musique qu'impose les musiciens. A titre individuel, un joueur sera apprécié en fonction de sa capacité à se *jouer de* son partenaire/adversaire. Bien sûr les règles et principes peuvent être transgressés et l'aspect martial par exemple prendre le pas sur la danse ou le jeu.

à Guillaume lors d'une *roda*, d'autant plus qu'étant débutant je sais pertinemment qu'il aura une réaction mesurée afin de ne pas me dégoûter du jeu avec lui. Le problème de l'observateur est alors au niveau de son analyse : va-t-il uniquement considérer la tentative de coup porté et la réaction défensive, la totalité de la *roda*, ou va-t-il également inclure la totalité de la relation ? La question du niveau d'analyse est ainsi mise en avant par Jacques Ferber [Ferber, 1995] lorsqu'il introduit une catégorisation des situations d'interactions. Il précise bien que « *une situation considérée au niveau macroscopique comme une situation de collaboration peut produire au niveau microscopique des situation locales de compétition* » et inversement. Par contre, le problème de la catégorisation des situations d'interaction qu'il propose est qu'elle est résolument micro, c'est à dire orienté vers la résolution de problèmes locaux. De fait, il y a une pertinence incontestable à catégoriser les situations d'interaction en termes de *but*s compatibles et incompatible, et de dépendance aux autres (par les *ressources* et/ou les *compétences*), pour faire de la résolution de problème. Mais, même si l'auteur précise l'incomplétude de sa catégorisation, il nous semble que ce ne soit pas le bon « angle d'attaque » pour aborder la coopération humaine. Il nous semble en effet plus pertinent d'aborder le problème de la coopération, et de ce qu'elle est, dans sa dimension dynamique (comment la relation de coopération débute, comment est-elle entretenue et comment elle s'achève ? Qu'elle activités met-elle en œuvre ? Comment se coordonne les acteurs ?) pour ensuite, éventuellement, définir des situations particulières affectant la coordination.

5.2 Mécanisme à base de seuil

Dans cette section nous proposons un mécanisme d'apprentissage qui oriente le comportement des agents vers la recherche d'un optimum de Pareto, afin que chacun ait la meilleure position compatible avec celles des autres. C'est le comportement social typique, où l'agent est coopératif tant que ce n'est pas à son détriment.

Dans la précédente section nous cherchions à calibrer le modèle en jouant sur les paramètres du mécanisme de rationalité et du modèle social, afin de valider des critères de stabilisation des comportements et d'émergence de la coopération. Après une exploration exhaustive des valeurs des paramètres, nous avons trouvé certaines valeurs (*scope* = 32, *oubli* / *récompense* > 2 / 5) qui nous permettaient de vérifier ces critères. Malheureusement, ces valeurs limitent fortement le processus exploratoire de l'agent et sont peu satisfaisantes pour un modèle de la rationalité d'un acteur stratégique. De plus, elles ont été obtenues pour une structure de jeu particulière, alors que nous cherchons un modèle de la rationalité des acteurs sociaux qui soit générique.

En regardant de plus près le fonctionnement du système de classeur tel que nous l'avons présenté ci-dessus, il apparaît que s'il permet à un acteur de comparer des valeurs successives de sa satisfaction et d'en déduire si l'action de la règle qu'il vient d'appliquer était bénéfique ou non (et ce de façon possiblement erronée puisqu'il ne distingue pas l'effet de l'action réalisée par l'autre acteur), il ne lui permet pas d'évaluer intrinsèquement le niveau de cette satisfaction, c'est à dire de la replacer dans l'espace des satisfactions qu'il peut obtenir. Autrement dit, un acteur n'a pas la possibilité d'évaluer si sa satisfaction courante est plutôt bonne ou plutôt mauvaise par rapport à ce qu'elle pourrait être. Or il est clair qu'un acteur social typique est en mesure de réaliser, même de façon approximative, une telle évaluation, et que son comportement n'est pas le même dans l'un et l'autre cas [Molm, 1991] : il n'a pas de raison particulière de changer de comportement si sa situation est bonne, par contre il tentera de faire autre chose s'il estime que sa situation pourrait s'améliorer. Par ailleurs, tous les modèles d'apprentissage par essais/erreurs prennent en compte l'équilibre entre l'exploration de l'espace des solutions et l'exploitation des

solutions satisfaisantes.

Nous souhaitons mettre en œuvre dans ce présent modèle une dynamique qui contrôle l'exploration et de l'exploitation des règles comportementales des agents. L'exploration consiste à parcourir l'espace des états d'un système afin d'obtenir des informations (la force des règles) sur les effets de l'application d'une action (celle associée à la règle sélectionnée ou créée) à partir d'un état donné du système. L'exploration consiste à utiliser les informations accumulées lors de l'exploration afin d'en tirer parti au mieux pour atteindre ses objectifs. Parmi les problèmes que présente le dilemme exploration / exploitation, on pourra retenir qu'une exploration excessive est en général temporellement trop coûteuse et se stabilise difficilement, et qu'une exploitation trop hâtive conduit en général à une solution sous-optimale. De plus le contexte multi-agents du problème ajoute la gestion l'incertitude liée à l'autonomie des autres agents. Nous nous proposons de gérer le dilemme exploration / exploitation par une heuristique d'origine sociale, où les acteurs cherchent à coopérer pour structurer leur relations quitte à revoir leurs prétentions à la baisse. Pour ce faire, nous introduisons un seuil *seuil_sat* dans le domaine de valeur de la satisfaction de chaque acteur en deçà duquel l'acteur va principalement chercher à explorer de nouvelles règles et nouvelles situations qui lui permettraient d'améliorer sa satisfaction, et au-delà duquel il va principalement exploiter les règles de faible effet qui lui ont permis d'atteindre ce bon niveau de satisfaction. Afin de rendre la convergence du système possible le valeur du seuil va évoluer vers celle de la satisfaction courante de l'acteur. Un comportement exploratoire se traduit par les trois éléments suivants : un renforcement négatif pour les règles dont l'action n'améliore pas strictement la satisfaction ; un facteur d'oubli important, qui conduit à un fort renouvellement des règles ; des incréments importants pour les actions, susceptibles de modifier sensiblement sa situation (ainsi que celle des autres acteurs), et donc sa satisfaction. A l'inverse, un comportement exploitant la situation atteinte se traduit par : un renforcement positif pour les règles dont l'action ne diminue pas la satisfaction ; un facteur d'oubli faible, qui conduit à un faible renouvellement des règles ; des incréments peu importants pour les actions, qui ne modifient pas sensiblement la situation. En appliquant ces principes, le comportement de chaque acteur se stabilise lorsque, sa satisfaction dépassant le seuil de *seuil_sat*, il se contente d'exploiter les règles qu'il a apprises, et le jeu se termine lorsque chaque acteur a dépassé son seuil de satisfaction.

Seuil_sat. Dans la mesure où, selon notre formalisation, cette espace des satisfactions est un intervalle, pour chaque acteur on calculera ex ante les bornes *satis_min* et *satis_max* de cet intervalle pour déterminer *seuil_sat*, qui délimite les satisfactions qui sont insuffisantes de celles qui sont satisfaisantes. Nous placerons le *seuil_sat* au cinq 6^{èmes} de l'intervalle [*satis_min*, *satis_max*]. Nous reviendrons sur les justification de cette répartition en conclusion. La valeur initiale de *seuil_sat* représente l'ambition initiale de l'acteur lorsque qu'il entre dans le jeu social. Il pourra ensuite suivant sa réussite ou son échec à atteindre cet objectif soit se résigner en révisant son ambition à la baisse, soit augmenter celle-ci. Ceci nous amène à considérer un modèle de la rationalité de l'acteur social où son ambition, *seuil_sat*, évolue dynamiquement en fonction de la satisfaction présente :

$$seuil_sat_n = seuil_sat_{n-1} + \alpha (satis_{n-1} - seuil_sat_{n-1}), \alpha \in]0 ; 1[.$$

Le paramètre α s'interprète comme le niveau d'opiniâtreté de l'acteur, c'est à dire sa capacité à maintenir ses ambitions faces aux successions de situations d'échec. Pour des raisons d'exploration, α doit être fonction des possibilités d'action des acteurs du système. Ici nous faisons une approximation en considérant :

$$\alpha = 1 / \prod_{r \in \text{relations_contrôlées}} \text{nombre_d_état}(r).$$

La dynamique du seuil consiste donc à rapprocher celui-ci de la valeur de la satisfaction d'un certain pourcentage, α , de la distance les séparant. Comparée à une dynamique à vitesse constante, cette dynamique de l'attraction du seuil présente l'avantage d'une convergence rapide du seuil vers des valeurs de l'intervalle théorique [*satis_min*, *satis_max*] quelque soit sa valeur initiale.

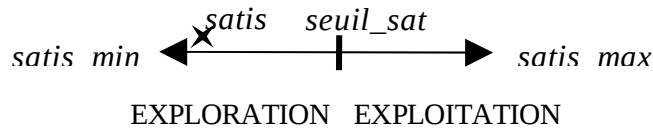


Figure V.8 - Le réglage du taux d'exploration / exploitation dans le modèle

L'adaptation du comportement d'un acteur en fonction de l'écart entre sa satisfaction courante et son seuil de satisfaction peut alors se faire assez simplement en modifiant le taux d'exploitation ou d'exploration de sa rationalité. Les paramètres du modèle qui gouvernent l'exploration et l'exploitation sont l'*oubli*, l'*intensité* de l'action, et la *récompense*. Ainsi suivant la position de leur satisfaction vis-à-vis de leur ambition, les acteurs sociaux adopteront des stratégies différentes de renforcement de leurs règles comportementales, et donc de structuration de leurs mémoire, jusqu'à stabiliser leurs comportements et ainsi structurer leurs relations.

Récompense. L'influence du paramètre *récompense*, qui récompense la règle précédemment appliquée en fonction de l'effet de son action sur la valeur de la satisfaction, doit permettre la stabilisation du comportement de l'acteur social si et seulement si sa satisfaction est à la hauteur de son ambition. Elle doit donc récompenser de ne rien faire si le seuil *seuil_sat* est atteint. Si l'on note *satis_{n-1}* la satisfaction d'un acteur à l'étape $n - 1$ et *satis_n* sa satisfaction à l'étape courante n , on définit :

- dans le secteur des satisfactions insuffisantes, la *récompense* est positive si $\text{satis}_{n-1} < \text{satis}_n$, et négative sinon ;
- dans le secteur des satisfactions satisfaisantes, la *récompense* est positive si $\text{satis}_{n-1} \leq \text{satis}_n$, et négative sinon

L'effet de ce principe est assez simple. Dans le secteur des satisfactions insuffisantes, une règle dont l'action n'améliore pas la satisfaction de l'acteur est peu renforcée et donc plus vite oubliée ; l'acteur a donc un comportement principalement *exploratoire*, il essaye rapidement d'autres actions à sa disposition jusqu'à ce qu'il en trouve une qui améliore sa satisfaction. Dans le secteur des satisfactions satisfaisantes, une règle dont l'action préserve le niveau de la satisfaction de l'acteur est renforcée ; l'acteur a donc un comportement qui consiste principalement à *exploiter* les règles qui lui ont permis d'atteindre ce niveau de satisfaction.

Oubli. L'heuristique proposée pour déterminer l'*oubli* est de le considérer comme une fonction continu de *satis*, dont la valeur maximum, assurant une forte exploration, s'atteint pour la valeur *satis_min* de *satis*, et la valeur minimum, assurant une faible exploration, s'atteint pour une valeur de *satis* supérieure ou égale à *seuil_sat*. Cette heuristique se base sur le fait qu'un acteur n'oublie pas une règle l'amenant à satisfaire son ambition et qu'il cherchera à oublier au plus vite celle le conduisant vers une situation insatisfaisante. On définit l'oubli comme suit :

si $\text{satis} < \text{seuil_sat}$:

$$\text{oubli} = \text{récompense} * (\text{seuil_sat} - \text{satis}) / (\text{seuil_sat} - \text{satis_min}),$$

si $\text{satis} \geq \text{seuil_sat}$:
 $\text{oubli} = 0$.

Intensité de l'action. Avoir un comportement exploratoire c'est appliquer une action énergique pour modifier sensiblement l'état du jeu. Ainsi l'intensité des actions est d'autant plus grande que la satisfaction est faible, et elle est d'autant plus petite que la satisfaction est proche de l'ambition. Elle ne peut toutefois être nulle afin de préserver un minimum de capacité exploratoire, et donc d'adaptation, en zone satisfaisante. On définit l'intensité comme suit :

si $\text{satis} < \text{seuil_sat}$:
 $\text{intensité} = 1 + \text{intensité_max} * (\text{satis} - \text{satis_min}) / (\text{seuil_sat} - \text{satis_min}),$

si $\text{satis} \geq \text{seuil_sat}$:
 $\text{intensité} = 1,$

où intensité_max est le nombre d'états de la relation.

Ainsi on adapte non seulement la fréquence, avec la *récompense* et l'*oubli*, mais aussi la vigueur de l'exploration.

5.3 Algorithme

Terminologie

R : l'ensemble des relations du jeu

A : l'ensemble des acteurs du jeu

S : ensemble des états du jeu

$$s = (te_r)_r \in S \Leftrightarrow \forall r \in R, b_min_r \leq te_r \leq b_max_r$$

P : $P \subset [-10; 10]^{|R|}$, l'ensemble des états perçus du jeu,

Π_a : l'ensemble des règles qu'un acteur peut appliquer. $\pi \in \Pi_a$, est une règle de la forme
 $(p, (action_r)_{r/control(r, a)}, force)$, telle que $p \in P$, $action \in [-2; 2]$, $force \in \mathbb{R}^+$

M_a : la mémoire d'un acteur a , $M_a \subset \Pi$.

Paramètres

a) constantes (numériques) propres à chaque acteur

scope : finesse de la discrimination des états du jeu

bonus : incrément ou décrement de la force d'une règle

force₀ : force initiale d'une règle

seuil_sat₀ : valeur initiale de seuil_sat

sat_min : satisfaction minimale de l'acteur

opiniâtreté : facteur de résignation

b) variables (numériques)

oubli : décrement des règles à chaque tour.

intensité : amplitude maximum de l'action.

seuil_sat : niveau de satisfaction ambitionné par l'acteur.

Fonctions

$p(s, a)$: $S \times A \rightarrow P$, la fonction de perception de l'acteur a telle que

$$p(s, a) = p((te_r)_r, a) = (\text{Effet}_r(a, te_r))_r$$

$control(r, a)$: $R \times A \rightarrow \{\text{faux} ; \text{vrai}\}$: renvoie vrai si l'acteur a contrôle la relation r , et faux sinon.

$d_a(s, s')$: $P \times P \rightarrow \mathbb{R}^+$: distance euclidienne dans l'espace des soldes distordue par les

enjeux que l'acteur a pose sur chaque relation

$M_a(p, scope)$: ensemble des règles π de M_a que a peut appliquer lorsque $d_a(p(s_t, a), p_\pi) \leq scope$, où s_t est la situation au temps t , et p_π est la composante perception p de la règle π .

```

tant qu'il existe un acteur  $a$  tel que  $satis_a < seuil\_sat_a$ 
  pour chaque acteur  $a$  de  $A$ 
    1) percevoir
       $p_{s,t} \leftarrow p(s_t, a)$ 
    1) mettre à jour son bilan
       $bilan_t \leftarrow satis_t - satis_{t-1}$ 
    2) mettre à jour l'amplitude de l'action
       $intensité = 1 + 10 * (seuil\_sat_{t-1} - satis_{t-1}) / (seuil\_sat_{t-1} - sat\_min)$ 
    3) mettre à jour le seuil de satisfaction
       $seuil\_sat_t = seuil\_sat_{t-1} + (satis_{t-1} - seuil\_sat_{t-1}) * opiniâtreté$ 
    4) mettre à jour les paramètres du système de classeur (oubli)
      si  $(seuil\_sat_t \geq satis_t)$ 
         $oubli_t = 1 + bonus * (seuil\_sat_t - satis_t) / (seuil\_sat_t - sat\_min)$ 
      sinon  $oubli_t = 1$ ;
    5) mettre à jour les règles du système de classeur
      a) rétribution
        si  $bilan > 0$  alors  $force_{règle\_choisie_{t-1}} += bonus$ 
        si  $bilan < 0$  alors  $force_{règle\_choisie_{t-1}} -= bonus$ 
        si  $bilan = 0$  et  $satis_t > seuil\_sat$ 
          alors  $force_{règle\_choisie_{t-1}} += bonus$ 
      b) oubli
        pour chaque règle  $\pi \in M_a$ 
           $force_\pi = force_\pi - oubli_t$ 
      c) Suppression des règles
        pour chaque règle  $\pi \in M_a$  telle que  $force_\pi \leq 0$ 
           $M_a \leftarrow M_a - \pi$ 
    6) choisir une action
      si  $M_{a, p_{s,t}, scope} \neq \emptyset$ 
        alors  $règle\_choisie_t \leftarrow au\_hasard\_dans(M_{a, p_{s,t}, scope})$ 
      sinon  $règle\_choisie_t \leftarrow (p_{s,t}, (au\_hasard() * intensité)_r, force_0)$ 
       $M_a \leftarrow M_a \cup règle\_choisie_t$ 
  pour chaque acteur  $a$  de  $A$ ,
  pour chaque relation  $r$  de  $R$ 
    appliquer  $(action_r, règle\_choisie_t, a)$ .

```

Tableau 29 - Algorithme du modèle de l'acteur coopératif.

5.4 Expérimentations

Afin de valider cet algorithme, nous allons analyser son comportement sur une série de modèles simples ; nous ne prétendons pas que cette validation soit définitive mais que, sur des

exemples simples, il donne les résultats attendus.

La structure des jeux considérés est celle donnée figure 10, dans laquelle on fera varier la répartition des enjeux des acteurs de 4 à 0 sur la relation qu'ils contrôlent et 6 à 10 sur la relation que l'autre acteur contrôle. Ces jeux sont donc parfaitement symétriques.

Dans chacun de ces jeux, les satisfactions maximum et minimum que peut obtenir chacun des acteurs sont respectivement 100 et -100 et pour toute valeur X dans cet intervalle, il existe un état e du jeu tel que $\text{satis}(A, e) = X$. Pour la répartition des enjeux 5 / 5, il s'agit d'un jeu à somme nulle : quelque soit l'état e du jeu, $\text{satis}(A, e) + \text{satis}(B, e) = 0$. Sinon, plus l'écart entre les deux enjeux des acteurs est important, plus l'amplitude entre les maximum et minimum de la satisfaction sociale (i. e. la somme des satisfactions des deux acteurs) est importante : elle est de 40 (entre -20 et +20) pour la répartition 4 / 6 et de 200 (entre -100 et +100) pour la répartition 0 / 10. Cet écart entre les deux enjeux des acteurs détermine donc l'importance du bénéfice résultant de la coopération. Dans tous les cas, un comportement coopératif (ou non coopératif) de la part d'un acteur correspond à une valeur négative (ou positive) de l'état de la relation qu'il contrôle. Le maximum (minimum) social est donc obtenu pour la valeur -10 (+10) pour chacune des deux relations.

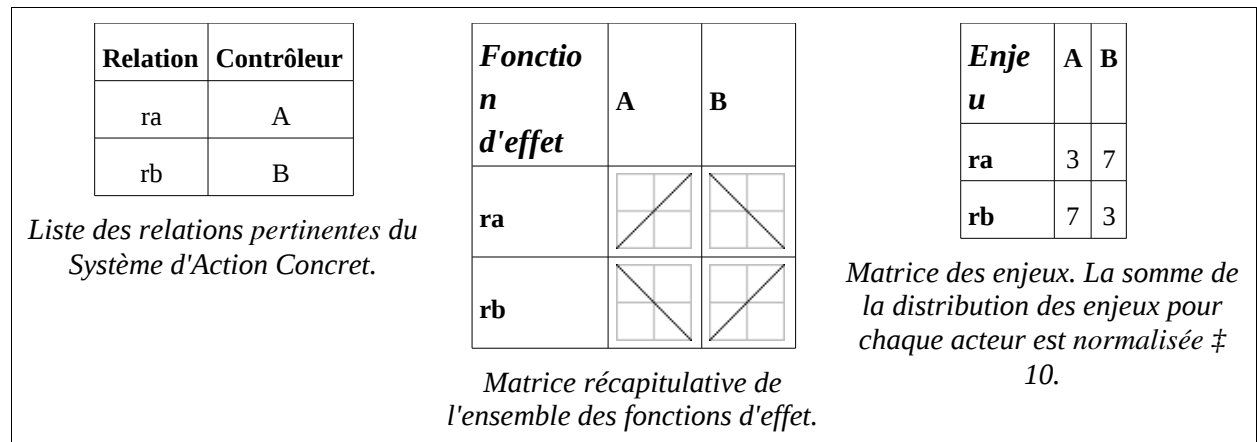


Figure V.9 - la structure des jeux

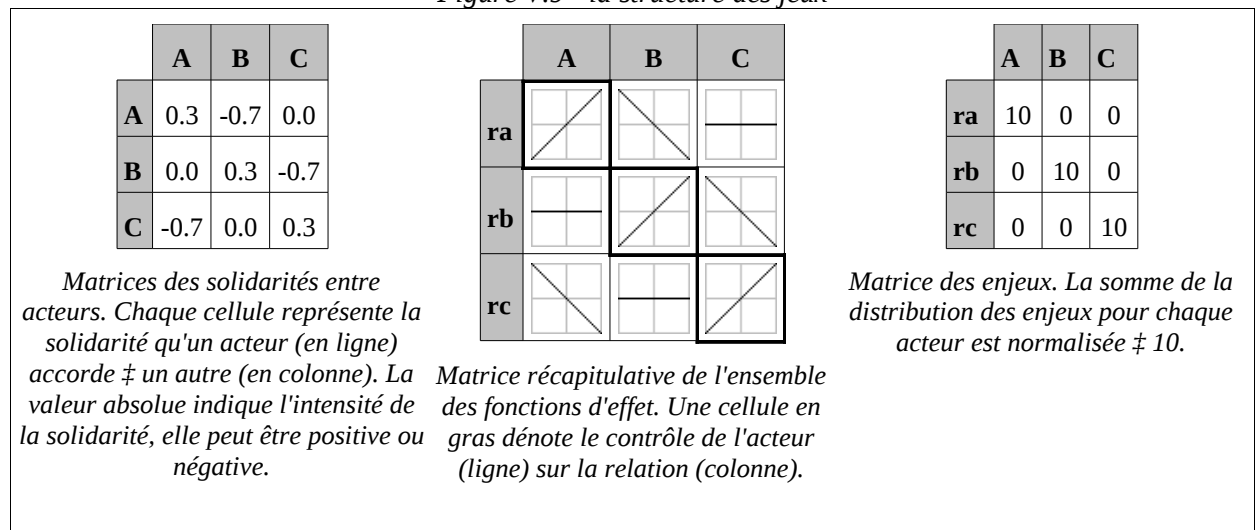


Figure V.10 - jeu pour lequel les fonctions de satisfaction sont identiques \neq celles du jeu de la figure 14

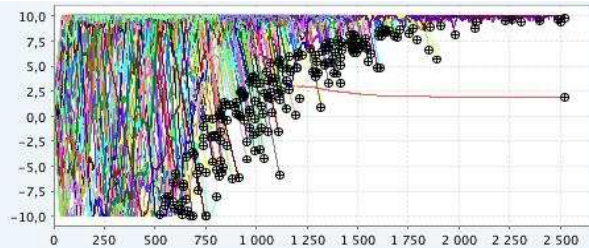
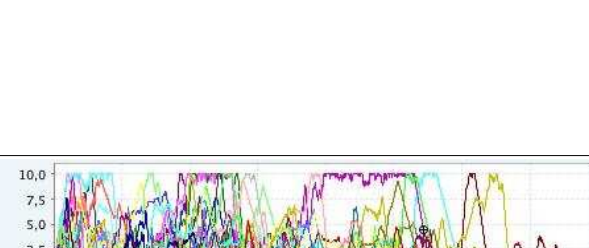
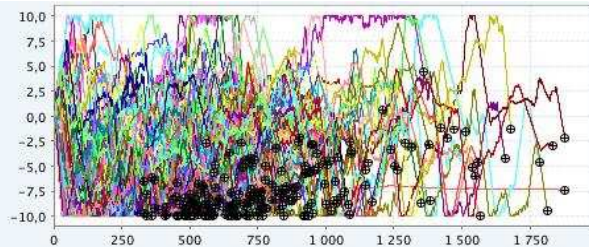
-Acteurs-	criterium	-Agent type-	scope	bonus	oblivion
A	Satisfaction	SocLab.core.actors.CSActor3	16.0	5.0	1.0
B	Satisfaction	SocLab.core.actors.CSActor3	16.0	5.0	1.0

Table 30 - Paramètres des mécanismes de rationalité des agents

Chaque cas fait l'objet de 200 simulations avec les valeurs de paramètres données en table 10. Les résultats sont similaires avec les valeurs 8 ou 32 du paramètre *scope*.

Un extrait des résultats de simulation, tels qu'ils peuvent être obtenus avec SocLab, sont donnés en figure 12 avec, pour chacune des répartitions d'enjeux considérées, la satisfaction des acteurs, l'état des relations et, certaines, l'évolution de l'état de la relation *ra* à chacun des pas des simulations, les signes + encadrés marquant l'état final de la relation à l'issue d'une simulation.

On peut en premier lieu remarquer que les résultats respectent la symétrie de la structure du jeu ; il n'y a donc pas de biais sur le nom ou l'ordre dans lequel sont introduits les acteurs et relations. On obtient les mêmes résultats si l'on inverse le sens des fonctions d'effet (c'est-à-dire avec un comportement coopératif correspondant à la valeur 10 (au lieu de -10) de l'état des relations) ; le signe des valeurs n'introduit pas de biais. Enfin, on obtient aussi les mêmes résultats avec une structure de jeu où chaque acteur pose ses 10 points d'enjeu sur la relation qu'il contrôle mais avec des solidarités telles que le calcul de sa satisfaction est identique (cf. figure 11 pour le jeu à 3 acteurs).

Enjeu x	Satisfactions à convergence		Termes de l'échange à convergence		Trace de l'état de la relation <i>ra</i> pour 200 simulations
4 / 6					
		Moyenne Ecart type		Moyenne Ecart type	
	A	-3.4 10.8	ra	1.9 4.6	
	B	-4.4 9.4	rb	1.8 4.8	
3 / 7					
		Moyenne Ecart type		Moyenne Ecart type	
	A	25.8 14.8	ra	-6.8 2.2	
	B	27.3 13.9	rb	-6.7 2.3	
2 / 8					
		Moyenne Ecart type		Moyenne Ecart type	
	A	41.2 17.8	ra	-7.4 2.1	
	B	44.1 15.6	rb	-7.1 2.3	

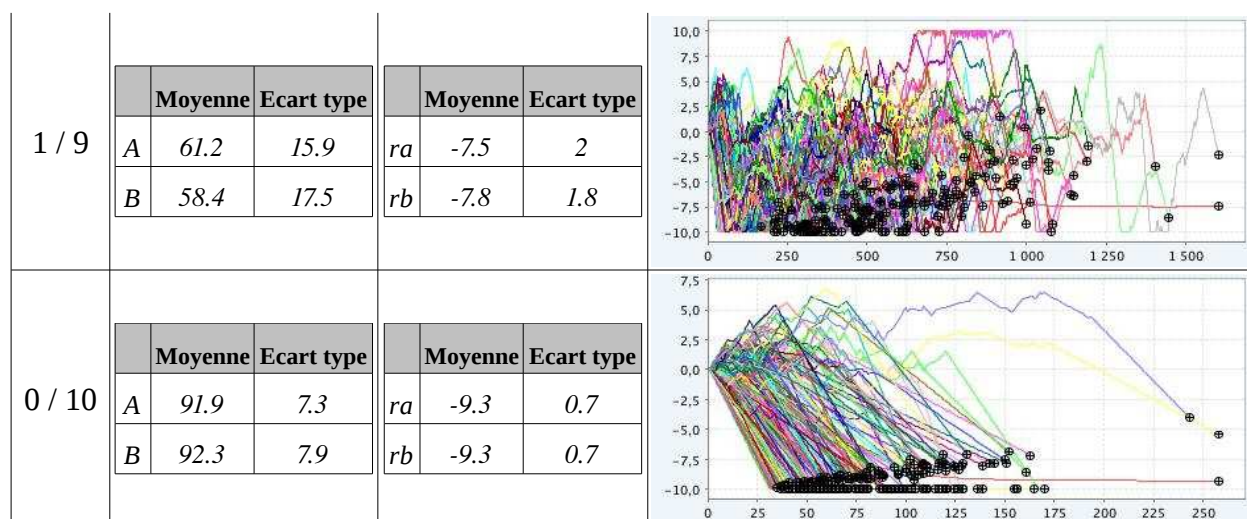


Tableau 31 - Extrait des résultats de simulation. La courbe rectiligne sur les graphes de l'évolution de l'état de la relation ra correspond à la moyenne.

	0 / 10	1 / 9	2 / 8	3 / 7	4 / 6	5 / 5	6 / 4
Satisfaction min à max	-100 à 100	-80 à 80	-60 à 60	-40 à 40	-20 à 20	0 à 0	-20 à 20
Etat des relations	-9,31	-7,60	-7,22	-6,75	1,85	?	9,9
Ecart type de l'état des relations	0,69	1,87	2,20	2,26	4,68	?	0,00
Satisfaction des acteurs	92,08	59,80	42,65	26,55	-3,9	?	19,9
% de satisfaction	96%	87%	85%	83%	40%	?	100%
Nombre de pas pour la convergence	≈ 100	≈ 500	≈ 900	≈ 1200	≈ 1400	∞	≈ 2200

Table 32 - Tableau récapitulatif des résultats de 200 simulations en fonction de la répartition des enjeux des deux acteurs

Ces résultats sont synthétisés Table 24 dont les lignes s'interprètent de la façon suivante :

- *Satisfaction max* : dans chacun de ces jeux, pour chaque acteur la satisfaction maximale est de 100 (l'état étant à 10 pour la relation qu'il contrôle et à -10 pour l'autre relation) et celle minimale de -100 (répartition inverse de l'état des relations). Ce que l'on indique ici, c'est les valeurs min et max de la satisfaction que les deux acteurs peuvent avoir simultanément, c'est-à-dire leur satisfaction pour les valeurs min et max de la satisfaction sociale. Plus l'écart entre les valeurs min et max est important, plus la coopération est bénéfique et son absence pénalisante.
- *Etat des relations, Satisfaction des acteurs* : il s'agit de la moyenne pour les deux relations et acteurs.
- *Ecart type de l'état des relations* : cet écart type, la moyenne de celui des deux relations, est à rapporter à l'intervalle [-10, +10] du domaine de valeur de l'état des relations. Plus sa valeur est faible, plus les simulations donnent des résultats proches les uns des autres. Cela revient à dire que la régulation est plus forte, les acteurs adoptent le même comportement de façon plus systématique, comme s'ils n'avaient pas le choix.

– *% de satisfaction* : c'est le pourcentage de la satisfaction obtenue par rapport au maximum social ; le domaine de la satisfaction étant centré autour de 0, la formule est $(\text{satisfaction} - \text{satis_min}) / (\text{satis_max} - \text{satis_min})$. Cette grandeur marque le taux de coopération de chacun des acteurs vis à vis de l'autre.

– *Nombre de pas nécessaires pour atteindre la convergence* : cette grandeur est évaluée visuellement, SocLab ne la fournissant pas encore. Elle correspond à la rapidité avec laquelle les acteurs obtiennent un niveau de satisfaction qui satisfait chacun d'eux.

Il manque dans ce tableau une grandeur invariante, qui permettrait de comparer cet algorithme avec d'autres et reste à trouver ...

Il apparaît clairement à l'examen de ce tableau que plus les acteurs ont intérêt à coopérer, à leur détriment (sauf dans le cas 0 / 10) mais au bénéfice de la satisfaction sociale du système, plus ils le font en intensité (% de satisfaction), en rapidité (nombre de pas pour la convergence) et de façon systématique (écart type).

A regarder les graphes de l'évolution de l'état des relations, et tout particulièrement celui de la répartition 4 / 6, il apparaît que les simulations les plus longues convergent vers une moindre coopération. Peut-être manque-t-il à cet algorithme un certain taux de désordre, par exemple en rehaussant aléatoirement le seuil de satisfaction objectif des acteurs, afin de rompre le cours des simulations qui stagnent.

Il y a certainement, entre les répartitions 4 / 6 et 3 / 7, un point point d'inflexion ou de bifurcation qui reste à trouver ; en-deçà d'un certain bénéfice résultant de la coopération, les acteurs ne parviennent pas à coopérer.

Comme nous l'avons dit, les variations de valeur des paramètres *scope* et *bonus* ne modifient pas sensiblement ces résultats. On peut penser qu'il n'en n'est pas de même pour le paramètre *opiniâtreté* qui règle la rapidité de l'évolution du partage exploration / exploitation, mais cette étude reste à mener. SocLab ne dispose pas encore d'un module d'analyse de sensibilité, qui seul permettra de trouver les valeurs des paramètres qui assurent la meilleure coopération.

En ce qui concerne le jeu avec une répartition 5 / 5 des enjeux, les simulations ne convergent pas ; dans un tel jeu, la coopération est plus coûteuse pour un acteur et elle est au bénéfice exclusif de l'autre acteur, tous les états du jeu étant équivalents du point de vue de la satisfaction sociale. L'algorithme se comporte comme si, ne trouvant pas de bonne valeur pour la satisfaction sociale, il ne pouvait pas produire de résultat, même en 40 000 pas de simulation. En termes sociologiques, il est impossible de réguler ce jeu, propriété qui est plutôt à mettre au crédit de cet algorithme, propriété qui est est d'autant plus remarquable que chaque acteur ne pilote sa recherche qu'au vu de sa propre satisfaction.

Quant aux jeux dans lesquels la coopération (en terme de bonne valeur pour la satisfaction sociale) est bénéfique pour celui qui la pratique, l'algorithme donne de très bon résultats, même si le nombre de pas pour la convergence est important. La figure 13 montre ce qu'il en est pour la répartition 7 / 3 des enjeux pour 200 simulations, le pourcentage de satisfaction étant de 100%.

Enjeu x	Satisfactions à convergence	Termes de l'échange à convergence	Trace de l'état de la relation <i>ra</i> pour 200 simulations
------------	--------------------------------	---	--

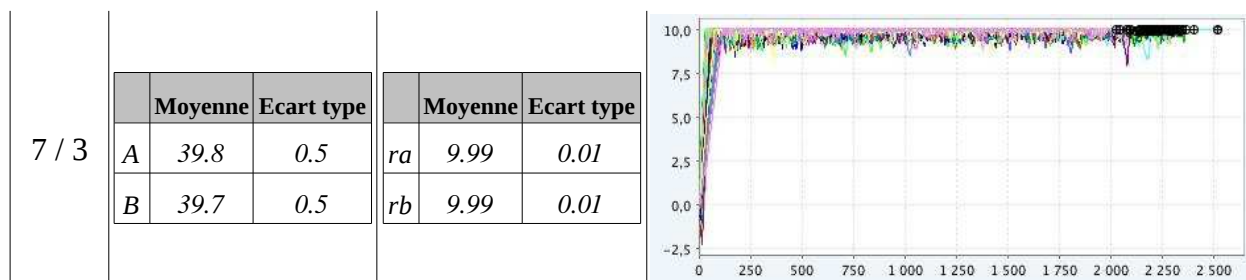


Table 33 - résultats de simulations pour la répartition 7 / 3 des enjeux sur 200 simulations

Examinons rapidement ce qu'il en est pour deux formes de jeux symétriques à trois acteurs (ces jeux n'ont aucune vraisemblance sociale, mais cela importe peu ici).

Dans la première forme, que l'on peut qualifier de dilemme du prisonnier circulaire, B dépend de A, C dépend de B et A dépend de C, selon la structure montrée figure 14. Avec les mêmes paramètres de simulation, les résultats sont ceux montrés table 12. La coopération n'est satisfaisante que pour la répartition 0 / 10 des enjeux, la seule situation dans laquelle la coopération ne coûte rien aux acteurs. Pour les autres valeurs, ce sont les simulations qui ne convergent peu rapidement et donnent de mauvais résultats comme le montre la figure 15.

	A	B	C
A	1	0	0
B	0	1	0
C	0	0	1

Matrices des solidarités entre acteurs. Chaque cellule représente la solidarité qu'un acteur (en ligne) accorde à un autre (en colonne). La valeur absolue indique l'intensité de la solidarité, elle peut être positive ou négative.

	A	B	C
ra			
rb			
rc			

Matrice récapitulative de l'ensemble des fonctions d'effet. Une cellule en gras dénote le contrôle de l'acteur (ligne) sur la relation (colonne).

	A	B	C
ra	3	7	0
rb	0	3	7
rc	7	0	3

Matrice des enjeux. La somme de la distribution des enjeux pour chaque acteur est normalisée à 10.

Table 34 - Structure du dilemme du prisonnier circulaire

	0 / 10	1 / 9	2 / 8	3 / 7
Satisfaction min à max	-100 à 100	-80 à 80	-60 à 60	-40 à 40
Etat des relations	-7,3	2,5	4,8	6,8
Ecart type de l'état des relations	3	5,7	5,3	3,9
Satisfaction des acteurs	71,5	-22,5	-29,9	-27,5
Nb pas pour la convergence	≈ 250	≈ 1500	≈ 2000	≈ 3500

Tableau 35 - résultats de 100 simulations pour le dilemme du prisonnier circulaire

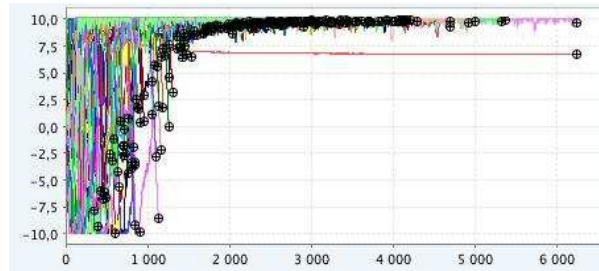


Figure V.11 - évolution de l'état de la relation *ra* sur 200 simulations du DP circulaire avec la répartition 3/7 des enjeux

La seconde forme de jeu symétrique à trois acteurs, que nous qualifierons de dilemme du prisonnier mutuel, se présente comme indiqué figure 16, les résultats de simulation figurant dans la table 13. Les résultats sont meilleurs que dans le cas du DP circulaire, puisque la coopération apparaît lorsque chaque acteur pose 2 points d'enjeux sur la relation qu'il contrôle. Cependant, ces résultats restent difficiles à interpréter.

	A	B	C
A	1	0	0
B	0	1	0
C	0	0	1

Matrices des solidarités entre acteurs. Chaque cellule représente la solidarité qu'un acteur (en ligne) accorde à un autre (en colonne). La valeur absolue indique l'intensité de la solidarité, elle peut être positive ou négative.

	A	B	C
ra	<div></div>	<div></div>	<div></div>
rb	<div></div>	<div></div>	<div></div>
rc	<div></div>	<div></div>	<div></div>

Matrice récapitulative de l'ensemble des fonctions d'effet. Une cellule en gras dénote le contrôle de l'acteur (ligne) sur la relation (colonne).

	A	B	C
ra	3	4	3
rb	3	3	4
rc	4	3	3

Matrice des enjeux. La somme de la distribution des enjeux pour chaque acteur est normalisée à 10.

Tableau 36 - structure du dilemme du prisonnier mutuel

	0 / 5 - 5	1 / 5 - 4	2 / 4 - 4	3 / 4 - 3	5 / 3 - 2	6 / 2 - 2
Satisfaction min à max	-100 à 100	-80 à 80	-60 à 60	-40 à 40	0 à 0	-20 à 20
Etat des relations	-8,5	-7,3	-6,5	2,9	?	9,9
Ecart type de l'état des relations	1,8	2,5	3,6	6,2	?	0,00
Satisfaction des acteurs	84,4	58,2	38,4	-12,4	?	19,9
Nb pas pour la convergence	≈ 200	≈ 700	≈ 900	≈ 1500	∞	≈ 2250

Table 37 - résultats de 200 simulations pour le dilemme du prisonnier mutuel

Les résultats dans ces jeux de la forme DP à trois acteurs restent difficiles à interpréter. Lorsqu'un acteur pose 0 point d'enjeu sur la relation qu'il contrôle, la coopération ne lui coûte rien. Lorsqu'il pose 6 points d'enjeux ou plus sur cette même relation, la coopération (entendue comme l'amélioration de la satisfaction sociale) lui profite directement. Dans les autres cas, il

semble, intuitivement, que la coopération soit très difficile à trouver. D'une part elle est peu probable, si on se représente l'espace des états du jeu comme un cube $[-10, +10]^3$ et qu'on évalue cette probabilité comme la portion de ce volume pour laquelle il y a coopération, soit $[-10, -6]^3$ dans le cas présent. D'autre part, et c'est ce qui est déterminant ici, on conçoit que le sens de la variation de sa satisfaction soit extrêmement difficile à interpréter par un acteur, du fait de la grande intrication de l'impacte des trois relations ; du fait même de sa symétrie, le jeu n'est pas polarisé. Il serait intéressant de trouver un paramètre de la structure des organisations mesurant la difficulté de la coopération.

5.5 Le paramètre caché

Comme nous l'avions précisé à la *section 4*, nous n'avons pu mettre en œuvre une exploration exhaustive de l'espace des paramètres. Celle-ci aurait certainement facilité l'explication de la non convergence vers l'échange mutuel pour le jeu à trois acteurs. Le facteur explicatif, une fois trouvé, est assez simple. Il s'agit de la valeur fixant l'*opiniâtreté* de l'acteur. Ce paramètre a une influence directe sur le temps de convergence des simulations et limite donc l'exploration des états et des actions du jeu. Les agents n'ayant pas eu assez de temps pour explorer et apprendre des stratégies de jeu efficace, ceux-ci voient leur ambition diminuer, et se satisfont alors d'une satisfaction faible. Une fois la valeur du paramètre augmentée à proportion de la complexité du jeu local (nombre de combinaisons d'action à un pas de temps), le modèle converge alors dans les mêmes proportions que pour le jeu à deux acteurs. Nous avons en conséquent validé ce modèle.

6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé de procéder à une validation des modèles de rationalité sur un SAC minimaliste nous servant de banc d'essai. Nous avons rappelé l'importance de la validation des modèles agents dans notre démarche général et avons établi le lien entre validation de modèles de rationalité et recherche des causes de l'émergence d'un phénomène social ou d'une propriété organisationnelle. Nous avons alors mis en avant la nécessité de disposer d'un acteur stratégique et coopératif au sens où celui-ci doit être à la fois capable de s'affranchir des problèmes inhérent à un dilemme du prisonnier et arriver à soutenir la coopération, mais également savoir *jouer stratégique*.

Le SAC minimaliste que nous proposons nous permet de mettre deux acteurs dans diverses situations d'interaction. Outre le fait de pouvoir décrire une situation de dilemme du prisonnier tel qu'il est classiquement énoncé, nous pouvons en décrire une forme plus cohérente avec le monde social, c'est à dire fondé sur une asymétrie de gain. Ce type de structure d'interaction est une des originalités produites dans ce mémoire, que nous appelons un dilemme du prisonnier social.

Sur ce, un premier modèle, uniquement fondé sur un apprentissage de règles motivé par l'augmentation de la satisfaction n'a pu être validé. Le modèle s'avère incapable de produire de la coopération dans le cadre du dilemme du prisonnier social, sauf pour des valeurs de paramètres peu intéressantes. En effet on ne saurait se satisfaire d'un modèle qui est trop rationnel (connaissance exhaustive des situations) ou trop limité (dans son adaptation). Le processus de non validation nous a permis d'illustrer le rôle de l'exploration des paramètres dans la validation de modèle ainsi que les problèmes inhérents à la masse de résultats produits. Face à ce problème nous avons produit une manière originale pour visualiser une masse importante de résultats. Nous pouvons ainsi représenter la valeur d'un résultat de simulation en fonction de quatre paramètres (voir plus?) sur un même plan : une façon de visualiser cinq dimensions quand on n'en

dispose que de deux.

Enfin, un deuxième modèle de rationalité résolument orienté vers la coopération est proposé. Celui-ci reprend les éléments du premier, mais est augmenté d'un seuil mobile de satisfaction, l'*ambition*, qui régit la balance entre exploration et exploitation des règles apprises. La même étude que celle entreprise pour le précédente modèle n'a pu être effectuée et nous avons ainsi failli oublier de tenir compte de la complexité du jeu pour fixer l'opiniâtreté de l'acteur, ce paramètre qui fixe la vitesse à laquelle évolue l'ambition. Une façon de fixer ce paramètre aurait été d'appliquer un facteur fonction du nombre d'état et nombre de transitions, mais les simulations auraient été très longues. Sur la base que nos agents s'adaptent très vite nous avons fait l'hypothèse de l'*instant présent* : c'est à dire qu'on ne considère que le nombre de transitions pour fixer l'*opiniâtreté*. Une connaissance plus fine de l'impact de ce paramètre sur la dynamique de l'organisation serait toutefois nécessaire. Au final, après ces quelques réglages, le modèle permet une forte convergence vers la coopération quand celle-ci est possible et fructueuse. Nous pouvons alors envisager de pousser sa validation et celle du méta-modèle en modélisant et en faisant des simulation d'un cas d'étude plus complexe (*Chapitre VI*).

Chapitre VI - Modélisation du cas Bolet

1 Introduction

Dans ce chapitre nous proposons d'étudier un cycle complet de modélisation-simulation-interprétation autour d'un cas représentatif de la SAO : le cas Bolet [Bernoux, 1985]. Le cas Bolet décrit la tentative de rationalisation d'une entreprise jusqu'alors organisée selon un modèle paternaliste. Le passage vers un modèle « moderne » est une conséquence directe de la volonté d'introduire une nouvelle machine plus performante, quantitativement et qualitativement, afin de répondre aux exigences des clients et d'anticiper la concurrence qui saurait s'en saisir avant. En terme de réorganisation du travail, les employés de l'atelier de montage seraient amenés à perdre la maîtrise de leurs compétences et surtout à se reconvertir vers un travail spécialisé, à la chaîne.

L'entreprise Bolet est un cas pédagogique illustrant les difficultés du changement organisationnel toujours soumis à des stratégies de freinages. La SAO permet d'expliquer assez facilement ce type de phénomène. En général le changement organisationnel induit une redistribution des zones d'incertitude. Les relations évoluent, certains acteurs seront alors amenés à perdre de leur pouvoir au profit de certains autres. Les acteurs capables de cette anticipation vont bien sûr s'exprimer et se mobiliser afin de maintenir leur maîtrise sur les relations qu'ils contrôlaient jusqu'alors.

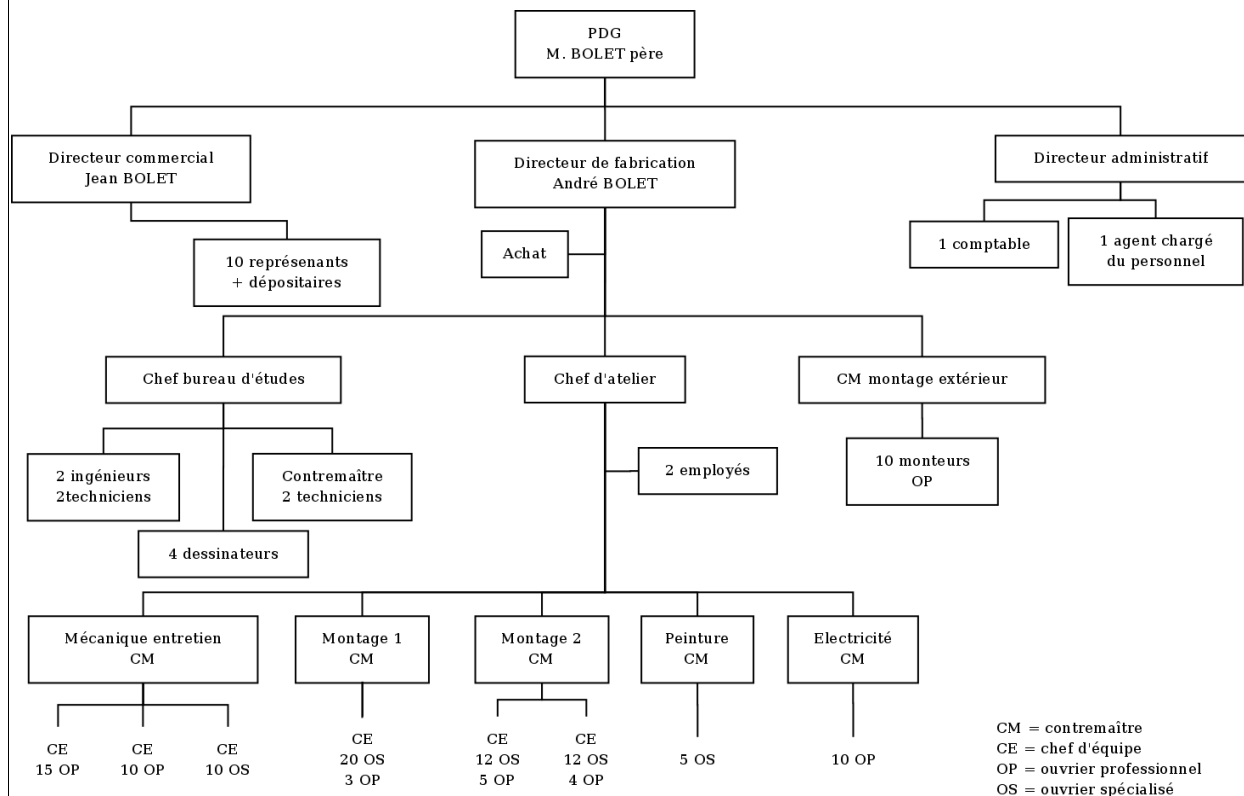
Par ailleurs le nombre de relations, d'acteurs, ainsi que les solidarités croisées qu'ils entretiennent, font du cas Bolet un candidat suffisamment complexe pour tester l'expressivité du méta-modèle et la validité du modèle de rationalité. Nous commencerons donc par présenter le cas, dans une version réduite. Puis, après quelques considérations d'ordre méthodologique, nous passerons à la phase de modélisation où nous attacherons la plus grande attention à l'argumentation de nos choix et à l'interprétation sous-jacente. Nous finirons enfin par une série d'expérimentations dont nous interpréterons les résultats avant de conclure.

2 Présentation du cas Bolet

Le cas Bolet est un cas classique présent dans l'ouvrage universitaire « Sociologie des Organisation » [Bernoux 1985].

M. Bolet, PDG de la Société Charicoup, s'inquiète des tensions qui apparaissent entre les agents de maîtrise et les cadres, traduisant sans doute une mutation de la société. La Société Charicoup est une entreprise familiale. M. Bolet en est le fondateur ; il la dirige avec deux de ses enfants. Jean s'occupe du développement commercial, André dirige la fabrication. Ce dernier est ingénieur ; il est entré dans l'entreprise il y a cinq ans et c'est lui qui a défini et mis en place la structure actuelle (cf. organigramme).

Voici l'organigramme de l'entreprise.



L'entreprise fabrique du matériel pour scieries : des chemins de roulement qui amènent les billes de bois sous les scies et les présentent selon un programme de découpage. Un matériel résistant, relativement précis et automatisé ; un matériel soumis à des traitements durs, utilisé par des ouvriers de scierie n'ayant pas tellement le réflexe mécanicien. Elle a connu une expansion rapide. Fondée il y a une quinzaine d'années, elle est passée de 20 à 200 personnes environ.

L'atelier mécanique fabrique les pièces mécaniques, la petite tôlerie. Deux ateliers de montage montent les machines qui, après essai, seront démontées en sous-ensembles pour expédition chez les clients. Chez ceux-ci le montage sera fait par le service Montage extérieur. Ce dernier effectue également les réparations et l'entretien. L'entreprise cherche à passer avec ses clients des contrats d'entretien pour pallier les effets des utilisations assez "sauvages" du matériel.

La cellule Etude répond aux demande des clients transmises par le service commercial. Tous les produits sont conçus selon un même principe ; mais ils doivent être adaptés aux problèmes particuliers des clients. Cette cellule a été mise en place par André Bolet. elle est composée de jeunes ingénieurs et techniciens.

Les agents de maîtrise sont presque tous sortis du rang, " les premiers compagnons ", " le noyau de départ ". Echappent à cette norme : le contremaître électricien, le contremaître de montage extérieur et un chef d'équipe de mécanique. Le chef d'atelier est, lui aussi, sorti du rang : il a été promu cadre à l'arrivée des ingénieurs de la cellule Etude.

Le directeur administratif est en place depuis deux ans. Il a remplacé le premier comptable de la société. Il a mis en place un système de comptabilité industrielle, depuis un an.

Le personnel ouvrier comporte trois couches d'ancienneté : plus de 10 ans, de 4 à 5 ans, de 2 à 3 ans. L'entreprise ne connaît pas de difficultés de recrutement. Elle est installée à quelques kilomètre d'une ville de 20 000 habitants qui a un collège d'enseignement technique et un centre de formation professionnelle accélérée.

Des entretiens faits au cours d'une enquête préalable ont donné cette image de l'entreprise :

- A entendre les ingénieurs et les techniciens, les agents de maîtrise sont dépassés : les délais ne sont plus tenus : " Il est impossible de dépasser un seuil de performance. " , " Il faudrait mettre en place une cellule Méthodes et forcer le chef d'atelier à planifier le contrôle sur les délais. " , " La maîtrise, ici, c'est sacré ! " .
- Le chef d'atelier se dit débordée par les problème de stockage, d'expéditions, par les demandes de réparations. Il parle pas mal des " exploits " des fils Bolet, dans un sens péjoratif.
- A en tendre la maîtrise, les " bureaux " interviennent pour désorganiser ; il faut souvent arrêter un travail pour faire un essai ou en passer un plus urgent. Toutes les remarques qui sont faites par les agents de maîtrise ne sont plus entendues. " Il faudrait que le père Bolet passe plus souvent dans les ateliers " est un leitmotiv.
- De plus, l'expansion pose un problème de main d'œuvre. Les vieux compagnons se plaignent : " On touche des jeunes qui n'ont jamais mis les pieds dans un atelier : il faut tout leur apprendre. "

Le directeur commercial est revenu d'un voyage en Suède où il a pris connaissance d'un nouveau matériel de fabrication. Il pose la question de l'introduction de cette nouvelle machine dans l'entreprise :

- ce matériel, peu connu pour le moment, peut être pris par les concurrents ;
- il s'agit d'une machine chère, qui suppose donc un investissement important ;
- elle est beaucoup plus performante que le matériel utilisé actuellement dans l'entreprise (meilleure qualité et quantité nettement supérieure) ;
- son introduction obligera à changer la production (davantage de préparation et de planification, travail posté, etc.).

Pour des raisons commerciales et économiques Jean Bolet est convaincu de la nécessité d'acquérir cette nouvelle machine suédoise, il doit, maintenant, se confronter au « construit social » que constitue l'entreprise.

3 Sur la démarche de modélisation d'un système d'action concret

Modéliser un système d'action concret (SAC) est un exercice particulier qui conduit à

l'adoption et à l'utilisation d'un langage formel particulier (le méta-modèle). Les concepts de ce langage engage le modélisateur à adopter des points de vue différents sur le SAC. Comme pour un plan de bâtiment, on va décrire une vue de face, une vue de côté et une vue de haut, pour les fondations, le rez de chaussé, le premier étage, et le toit. Et au moment de passer à l'assemblage, tout s'écroule car le mur porteur n'a pas été repensé suite au changement apportés à la structure du toit. La construction d'un modèle se fait ainsi en adoptant une succession de points de vue, qui peut conduire à une représentation fragmentée et incohérente, empêchant toute interprétation de l'issue des simulations, et de la valeur des indicateurs. L'objectif de ce document est de fournir des guides, plus qu'une méthodologie, permettant au(x) modélisateur(s) de réaliser un modèle unifié du phénomène social. À l'issue d'une étude bien menée, les différents liens entre les instances de concepts utilisés doivent présenter une cohérence générale et permettre l'interprétation du cas et des résultats de simulation. C'est pourquoi une bonne démarche de modélisation, d'autant plus si elle est collective, est avant tout un processus itératif qui consiste à effectuer des va-et-vient entre les différents points de vue sur le modèle afin d'en unifier la cohérence (plusieurs vues cohérentes peuvent toutefois être réalisées).

Le guide méthodologique que nous proposons ici est le fruit des discussions et des réflexions qui ont animé nos réunions entre informaticiens et sociologues autour de la modélisation du cas Bolet.

3.1 Du bon ordre de l'utilisation des concepts du méta-modèle

Le débat autour de l'ordre des questions à aborder a orienté la démarche de modélisation vers celle adoptée dans l'expertise en SAO. Il s'agit dans un premier temps de délimiter le contexte d'action, mettant en jeu les *relations* du système, ce qui permet par la suite de dévoiler les acteurs pertinents du système, ceux, qui munis d'une rationalité stratégique, seraient à même de pouvoir les mobiliser à leur avantage, et par voie de conséquence ceux qui pourraient pâtir ou profiter de ces stratégies. Une autre méthode avait toutefois été proposée où il s'agissait de commencer par repérer les *acteurs* pertinents afin de mettre à jour les *relations* sur lesquelles ils placent leurs *enjeux*. Dans les faits, nous avons initié le processus de modélisation avec la première méthode, puis nous avons complexifié le modèle par des va et vient avec la deuxième méthode.³⁴

³⁴Pour des raisons évidentes de clarté de l'exposé, l'ordre des éléments de modélisation de ce document ne suit pas toujours exactement celui de la modélisation effective du cas Bolet. Les acteurs y sont présentés avant les relations, les relations après les enjeux, etc.

3.2 Concernant l'identification des acteurs

Pour chaque acteur que nous identifions, nous répondons en général à trois obligations :

–Fournir une description générale de l'acteur, son nom, sa position, etc. En effet, il semble qu'il soit tout d'abord nécessaire d'avoir une vision générale de chaque acteur à partir des éléments issus de l'analyse sociologique. Une telle description de l'acteur évite de s'enfermer dans une spécificité développée lors de la modélisation.

–Enoncer précisément les moyens de son autonomie, c'est à dire les relations qu'il contrôle.

–Justifier, le cas échéant, la nature collective d'un acteur. La SAO est une sociologie de l'action où les acteurs sont avant tout des individus. Il est bien sûr envisageable de concevoir des acteurs collectifs pour peu que la justification en soit faite. Bien souvent cette justification consiste à mettre en avant une communauté d'intérêts et de contrôle de relations entre les acteurs : si ils ont les mêmes enjeux et les mêmes moyens, on peut alors les confondre.

Après avoir mis à jour les relations (voir *Modélisation des relations*), il est possible de préciser les possibilités d'action et donc de source d'autonomie qu'elles offrent aux acteurs. C'est par cette capacité à avoir une action autonome que les acteurs peuvent être identifiés.

4 Modélisation du cas

4.1 Les acteurs

On dénombre quatre acteurs pertinents pour l'analyse du cas : le chef d'atelier, le père Bolet qui dirige l'entreprise, Jean, le fils, commercial, que l'on associe au bureau d'étude, et André, l'autre fils, en charge de la production.

Le chef d'atelier

C'est un acteur historique, c'est un ancien compagnon de l'entreprise et un ancien ouvrier qui est écouté par le Père et par les ouvriers. Nous l'identifions par sa fonction institutionnelle de chef d'atelier (CA).

Le chef d'atelier semble bien représenter les enjeux du personnel de production. Il est de plus en mesure de diriger effectivement les ateliers. Il n'y a donc pas lieu de distinguer le CA du personnel de production.

Son autonomie réside dans la possibilité de déterminer l'investissement dans l'atelier dans l'activité de la production, et de plus ou moins bien appliquer les prescriptions du bureau d'étude.

Jean et le bureau d'étude

Jean, le fils du patron, est le commercial de l'entreprise. Il est l'initiateur de l'introduction d'une nouvelle machine. Ses relations avec le bureau d'étude (BE) sont fonctionnelles. Elles consistent à adapter la production aux exigences qualitatives et quantitatives des clients. Les membres du bureau d'étude, tout comme Jean, ont fait des études supérieures.

Ils sont fonctionnellement à des places différentes dans l'entreprise, mais semblent solidaires par leurs intérêts à rationaliser les méthodes de production et leur même culture professionnelle. L'exposé du cas ne donne aucune information particulière sur le bureau d'étude, et l'initiative de Jean relève plutôt des fonctions du BE. Par conséquent, nous avons décidé de faire de Jean et du BE un seul et même acteur collectif.

Jean détermine, à partir de ses relations avec les clients, les impératifs commerciaux et veut

qu'ils soient pris en compte. Le BE détermine la tâche prescrite de la production, le type de cette production. Leur autonomie réside donc dans leur capacité à *prescrire des normes et méthode de production*.

André

André est le fils aîné du patron et il est le responsable de la production (ou fabrication). De par sa culture d'ingénieur d'une part, et de sa position institutionnelle d'autre part, il est une sorte de « marginal sécant » situé dans les deux sous-systèmes qui s'affrontent (BE et CA). Il est à l'origine de la réorganisation de l'entreprise et de la mise en place du BE.

Fonctionnellement c'est de lui que dépend la mise en place de la machine. Il est en position d'arbitre entre le BE et la Production. Il peut dans une certaine mesure *contrôler les prescriptions proposées par le BE*, c'est à dire les accepter ou non selon qu'elles sont plus ou moins contraignantes pour la production. De plus, il *contrôle l'application de ces prescriptions*.

Le père Bolet

Le père Bolet préside l'entreprise, il en est par ailleurs le fondateur. Il maîtrise la *décision finale de l'introduction de la machine* qui consiste à dire oui ou non. Il ne semble pas avoir d'enjeux propres, si ce n'est le bon fonctionnement de l'entreprise qui passe par l'investissement et la « satisfaction » de chacun. D'autre part, on considère que ses intérêts sont essentiellement placés sur la satisfaction des autres.

4.2 Le contrôle des relations

Le tableau Tableau 38 synthétise le contrôle des relations, c'est à dire les sources d'autonomie, et de pouvoir des différents acteurs du SAC.

n°	relation	CA	BE	André	Père
1	décision d'achat				x
2	nature de la prescription		x		
3 (= c2)	contrôle de la nature de la prescription			x	
4	application de la prescription	x			
5 (= c4)	contrôle de l'application de la prescription			x	
6	Investissement dans la production	x			

Tableau 38 - Contrôle des relations

4.3 Modélisation des solidarités

4.3.1 Méthodologie de modélisation des solidarités

Il s'agit à nouveau de partir des données du cas, pour cette fois-ci fixer la force des liens de solidarité ou d'antagonisme pouvant exister entre les acteurs, et qui pèseront dans l'évaluation de leur satisfaction.

Le fait qu'un acteur puisse engager une part de son attention sur quelqu'autre acteur, nous amène à considérer l'ensemble des solidarités sous la forme d'une matrice (Figure VI.1), qu'il est nécessaire de nourrir à partir de données recueillies sur le terrain ou ailleurs. Il s'agit donc de remplir un tableau où chaque ligne représente les distributions de quantité d'attention d'un acteur. Étant donné l'aspect subjectif de cette distribution, on s'attachera dans un premier temps à remplir chaque ligne indépendamment des autres. On posera alors un certain nombre de '+' et de '-' suivant l'importance de l'attention et le sens de l'orientation, solidaire ou antagoniste.

Les données qui remplissent la matrice sont ajustées au fur et à mesure de l'établissement d'un système d'hypothèses cohérent. Cette façon de faire est typiquement adaptée à un cadre d'analyse universitaire tel le cas Bolet où le manque de données contraint l'analyste, étudiant ou chercheur, à proposer une analyse tout en lui laissant assez de marge de manœuvre quant à l'établissement de propositions explicatives. Elle reste également pertinente pour une analyse fondée sur des données de terrain complètes mais qui peuvent malgré tout s'avérer inexactes pour diverses raisons, que ce soit la mauvaise fois des acteurs interrogés, leur mauvaise évaluation ou les erreurs induites par les méthodes de recueil de données.

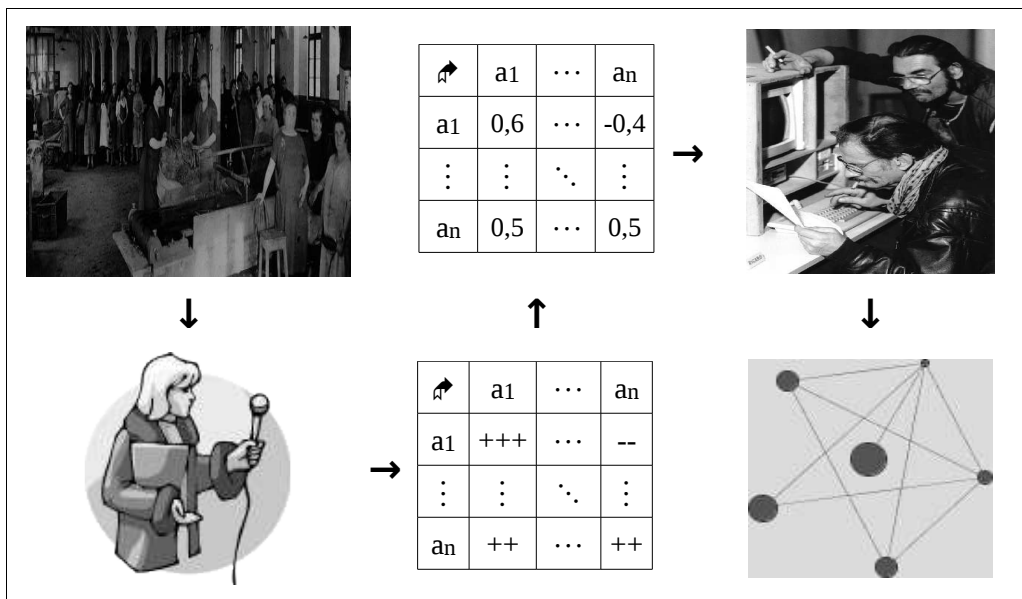


Figure VI.1 - Processus de modélisation des solidarités

Le passage de la matrice $\text{solidarité}_{+/-}$ vers une matrice numérique s'effectue facilement via la correspondance établie par l'équation suivante :

$$\text{solidarité}[\text{ego}][\text{alter}] = (n^{+}_{[\text{ego}][\text{alter}]} + n^{-}_{[\text{ego}][\text{alter}]}) / n^{+/-}_{\text{ego}},$$

où $n^{+}_{[\text{ego}][\text{alter}]}$, $n^{-}_{[\text{ego}][\text{alter}]}$ est le nombre de '+', de '-' dans $\text{solidarité}_{+/-}[\text{ego}][\text{alter}]$,
 $n^{+/-}_{\text{ego}}$ représente le nombre total de '+' et de '-' dans la ligne correspondant à ego

4.3.2 Solidarités

En procédant selon la méthodologie précitée, nous avons en premier lieu recherché dans l'analyse sociologique du cas les éléments d'argumentation (*Tableau 39*) nous permettant de fixer par la suite les paramètres de solidarités, d'abord sous la forme d'une matrice de '+/-' (*Tableau 40*), où le nombre de signes indique le poids de l'attention portée à autrui, puis finalement sous la forme d'une matrice numérique, normalisée à un capital d'attention de 1 (*Tableau 41*).

↗	CA	Jean/BE	André	Père
CA	+++ : Ceux sont les exécutants opérationnels. Ils peuvent compter surtout sur eux même.	- - : Symétrique de BE vers CA, renforcé par du ressentiment car c'est le BE qui a le pouvoir légitime de prescrire.	voir la solidarité du CA pour le Père	++ : Ils reportent sur le Père la reconnaissance d'autorité qu'ils devraient à André, et la renforce en symétrie de Père -> CA.
Jean/BE	- : Il y a un partage de la reconnaissance entre le BE et le CA : ce qui renforce l'un, affaiblit l'autre et réciproquement.	++	+ : c'est leur chef, il a créé le BE, cf André -> BE	
André	++ : André est responsable de la production que le CA assure.	+ : Des ingénieurs comme lui. De plus André a institué le BE.	+++ : Il a son propre intérêt à ce que l'achat se fasse.	
Père	++++ : Les liens culturels tenant à l'histoire commune du père et du CA implique une forte solidarité.	++ : Sur le BE proprement dit. Le Père aurait une solidarité autre avec Jean en tant qu'individu.	++ : C'est son fils.	+ : la valeur 0 voudrait dire qu'il est totalement extérieur au jeu, qu'il n'y a aucun intérêt.

Tableau 39 - Justification de l'intensité et de l'orientation des solidarités

↗	CA	Jean	André	Père
CA	+++	- -		++
Jean	-	++	+	
André	++	+	+++	
Père	++++	+	++	+

Tableau 40 - Matrices des solidarités (forme '+/-').
En ligne : les solidarités distribuées par un acteur.
En colonne : les solidarités reçues par un acteur.

↗	CA	Jean	André	Père	Σ sol.
CA	45%	-22%	0%	33%	1
Jean	-15%	55%	30%	0%	1
André	30%	20%	50	0%	1
Père	50%	15%	25%	10%	1

Tableau 41 - Matrices des solidarités (forme numérique normalisée). En ligne : les solidarités distribuées par un acteur. En colonne : les solidarités perçues par un acteur.

4.4 Modélisation des relations

4.4.1 Méthodologie

Chronologiquement, il s'agit en fait du premier temps de la modélisation. On cherche ici à identifier précisément chaque relation et à voir qui la contrôle et qui en dépend. Pour chaque relation identifiée, il convient d'adopter une démarche rigoureuse consistant à expliciter à quel comportement correspond chaque (plage de) valeurs de l'espace d'état de chaque relation. Cela permet ainsi de disposer d'une échelle qualitative sans laquelle la modélisation et les interprétations des résultats de simulation et des états remarquables ne pourront être faites correctement. Cette démarche consiste à :

- *Nommer précisément* chacune des relations. La dénomination d'une relation comportera notamment les références à la ressource qui la fonde.
- *Définir précisément l'interprétation des bornes* du domaine de valeur du '*terme de l'échange*' associé à chacune. Ces bornes représentent ce qui est *physiquement possible* et sont fixées à -1 et 1.
- *définir une échelle nominale* permettant l'interprétation des valeurs sur le domaine de valeur du '*terme de l'échange*'. On pourra définir des intervalles précis ou flou. Cette échelle permettra notamment de :
 1. fixer les marges de manœuvre des acteurs sur les relations qu'ils contrôlent, ainsi que les effets du terme de l'échange de la relation sur les acteurs qui en dépendent. La marge de manœuvre est délimitée par les contraintes de l'action. Celles-ci représentent ce qui est *socialement possible*.
 2. définir l'état initial d'une simulation. L'état initial d'une simulation correspond à l'ensemble des valeurs initiales des termes de l'échange de chaque relation.
 3. d'interpréter l'état final d'une simulation.

4.4.2 Pré-modélisation des relations du cas Bolet

Les relations sont décrites plus en profondeur dans la partie de ce document décrivant les fonctions d'effet pour les relations simples et pour les relations de contrôle. Dans le cas Bolet, il ressort six relations pertinentes, qui s'articulent autour de trois ressources caractéristiques d'une organisation que sont la machine, la règle, le travail :

- *La décision d'achat de la machine :*
 - elle est contrôlée par le Père et tous en dépendent
 - échelle nominale du domaine de valeur du terme de l'échange :

-1	⇔	rejet,
0	⇔	ne prends pas position,
1	⇔	adoption.
- *La nature de la prescription du travail :*
 - elle est contrôlée par le BE et tous en dépendent
 - échelle nominale du domaine de valeur du terme de l'échange :

-1	⇔	prescription peu rationnelle,
1	⇔	prescription rationnelle technique rigoureuse,
- *Le contrôle de la nature de la prescription :*
 - elle est contrôlée par le André et tous en dépendent sauf le CA
 - échelle nominale du domaine de valeur du terme de l'échange :

-1	⇔	aucun contrôle,
1	⇔	contrôle tatillon.
- *L'application de la prescription :*
 - elle est contrôlée par le CA et tous en dépendent
 - échelle nominale du domaine de valeur du terme de l'échange :

-1	⇔	ne l'applique pas du tout,
1	⇔	l'applique intégralement.
- *Le contrôle de l'application de la prescription :*
 - elle est contrôlée par le André et tous en dépendent sauf le BE
 - échelle nominale du domaine de valeur du terme de l'échange :

-1	⇔	aucun contrôle,
1	⇔	contrôle tatillon.
- *L'investissement dans la production:*
 - elle est contrôlée par le CA et tous en dépendent sauf le BE
 - échelle nominale du domaine de valeur du terme de l'échange :

-1	⇔	freinage,
1	⇔	zèle.

La caractéristique d'une relation de contrôle (*contrôle de la nature de la prescription et contrôle de l'application de la prescription*) est de déterminer la marge de manœuvre de la relation qu'elle régule. Pour chaque relation de contrôle il est nécessaire de décrire deux fonction de contrôle qui, en fonction de son état, fixent les bornes de la relation ciblée. La définition de ces fonctions (cf. 145) est d'autant plus aisée et cohérente que l'on a, au préalable, associé une interprétation au différents états de la relation.

4.4.3 Modélisation des enjeux

L'objectif est de remplir la matrice des enjeux de chaque acteur qui servira d'entrée pour le modèle. celle-ci est indicée en ligne par les relations et en colonnes par les acteurs. Le remplissage de la matrice se fait pour chaque acteur (par colonne).

Gardant à l'esprit que la modélisation est un processus collectif, et donc d'échange de points de vue, celle-ci s'effectuera par une succession de va-et-vient avec l'établissement des autres données du modèle - notamment la définition des fonctions d'effets. Ces aller-retours sont autant de discussions permettant d'affiner et de remettre en question l'argumentation des choix entrepris autant que de les relier de façon cohérente.

A titre d'exemple de va-et-vient, considérons le déroulement des différentes étapes de notre modélisation collective des enjeux.

Tout d'abord, une première version de la matrice d'enjeux a été proposée afin de disposer rapidement d'une vue générale sur le modèle plutôt que d'une vue parcellaire. Certains choix ont été communément adoptés après examen de plusieurs options alors que d'autres ont été arrêtés à la première option pertinente proposée au dépend de certains questionnements et argumentations mis de côté temporairement.

Cette première version a ensuite été révisée lors de l'examen d'options nouvelles ou précédemment mises de côté. Elle a également été affinée lors de la modélisation et de l'interprétation des fonctions d'effet. En effet, le fait de nourrir le modèle par catégories de données amène à adopter à chaque fois une perspective différente. Avec les enjeux ce sont les motivations et les objectifs des acteurs qui retiennent l'attention, alors que la modélisation des fonctions d'effets portent le focus sur le lien entre l'état des relations et la capacité d'action induite pour les participants de la relation. La difficulté est alors de bien distinguer ce dont il est question dans chacun des éléments du modèle. Il est possible de poser quelques règles contraignant la modélisation, mais aucune généralité n'est réellement envisageable. Ainsi, définir un enjeu non nul devrait être associé à une fonction d'effet à l'impact également non nul. Un acteur peut toutefois considérer qu'une relation a de l'importance pour un autre dont il est solidaire bien qu'il ne soit pas lui-même directement impacté par cette relation.

4.4.4 Arguments pour les enjeux

relation	CA	BE	André	Père
décision d'achat	++++	++	+	+
nature de la prescription	+	+	+	+
contrôle de la nature de la prescription	0	+	+	+
application de la prescription	+	+	+	+
contrôle de l'application de la prescription	++	0	+	+
Investissement dans la production	++	0	++	+++++

Tableau 42 - Matrice « +/- » des enjeux.

Enjeux du CA

Les conséquences de l'achat de la machine auront un impact fort sur leurs conditions de travail : ré-organisation du travail, requalification et certainement une réduction des effectifs. C'est la zone d'incertitude la plus importante. Nous avons donc fixé à 4 points l'enjeu de cette ZI. Manquant d'informations exactes à ce sujet nous avons choisi une valeur forte mais raisonnable

alors que suivant les circonstances (annonce de licenciement, ...) elle pourrait s'avérer plus élevée. Nous avons accordé la même importance de 4 points, aux relations qui portent sur la régulation du SAC et qui le touchent directement, à savoir : la nature de la prescription effectuée par le BE, son application qu'il assure (ou pas), et le contrôle par André de son application qui contraint son activité et réduit donc sa marge de manœuvre. Ce qui va les gêner tient en partie à la nature de la prescription (1 point) qui peut rendre pénible son application (1 point) mais, bien plus, c'est le contrôle strict de la bonne application de la règle qui peut ôter toute forme d'autonomie au CA. Il risquerait alors de se désengager de la production (2 points restant) en freinant son activité. L'équilibre entre l'enjeu sur la production et celui sur le contrôle de l'application de la règle nous conforte dans le choix de nos hypothèses.

Enjeux du BE

Il est à l'origine du projet d'achat et la décision finale est pour lui capitale (4 points). Son activité principale consistant à rationaliser le travail de la production, il sera autant sensible à l'exercice de son travail (2 points d'enjeu sur la nature des prescriptions établies), qu'à la liberté dont il dispose pour l'exercer (2 points sur le contrôle par André de son activité), ainsi qu'à la reconnaissance de son rôle qui passe pour eux par la bonne application de leur méthodes du côté de la production (2 points sur la l'application de la prescription). Ils n'ont pas d'enjeu sur l'investissement dans la production, ni sur le contrôle de l'application des prescriptions.

Enjeux d'André

En tant que marginal sécant entre le BE et la production, il est avant tout soucieux de la régulation (c2, c4) de l'activité de la production (2, 4). Il accorde la même attention (1,5 points) pour chacune de ces ZI. La décision d'achat n'a que peu d'importance (1 point) pour lui, ce qui lui importe c'est que l'entreprise fonctionne et que la production s'investisse (3 points).

























Enjeux du Père Bolet

Le père est concerné par chaque ZI (1 point pour chacune). Le bon fonctionnement de son entreprise en terme de production est sa priorité principale (5 points).




relation	CA	BE	André	Père
décision d'achat	4	4	1	1
nature de la prescription	1	2	1,5	1
contrôle de la nature de la prescription	0	2	1,5	1
application de la prescription	1	2	1,5	1
contrôle de l'application de la prescription	2	0	1,5	1
Investissement dans la production	2	0	3	5

Tableau 43 - Matrice numérique des enjeux.

4.5 Modélisation des fonctions d'effet pour les relations simples

n°	Relations	CA	BE	André	Père
1	décision d'achat				
2	nature de la prescription				
c2	contrôle de la nature de la prescription				
3	application de la prescription				
c3	contrôle de l'application de la prescription				
4	Investissement dans la production				

4.5.1 Effets de la décision d'achat

		CA	BE	André	Père
1	décision d'achat				

La sémantique associée à la valeur du terme de l'échange représente le degré de certitude d'achat (1) ou de non achat (-1) de la machine. L'espace d'état peut se diviser en trois secteurs (Tableau 44) sur chacun desquels chaque fonction d'effet a une interprétation assez stable :

Intervalle	Interprétation
$[-1 ; -0,4 [$	plus ou moins de certitude de rejet
$[-0,4 ; 0,4]$	incertitude (pas de prise de position)
$] 0,4 ; 1]$	moins ou plus de certitude d'adoption

Tableau 44 - Echelle d'intervalles pour l'interprétation de l'état de la relation

Les bornes du *socialement possible* sont confondues avec les bornes du *physiquement possible* : $b_{\min} = -1$, $b_{\max} = 1$. On suppose qu'il n'y a pas de contrainte financière à l'achat, que la machine est conforme à la réglementation, etc...

Effet sur le CA



L'introduction de la machine dévalorisera leur savoir faire actuel, et les rendra plus dépendants des procédures établies par le BE. Le sujet est très sensible, la moindre orientation du Père Bolet vers l'achat entraînera une insatisfaction inconditionnelle, d'où la forme sigmoïdale de la fonction qui permet de fixer deux soldes : très satisfaisant et très insatisfaisant, avec une transition abrupte entre les deux.

Effet sur le BE



La machine valorisera leur savoir faire actuel. C'est le pendant opposé de la fonction d'effet pour le CA. Toutefois, l'effet est moindre que sur le CA : le solde est défini sur $[-5 ; 7]$.

Effet sur André



La fonction exprime en quoi la décision du père affecte sa position. Si le père ne tranche pas, ce sera à lui de le faire. De plus elle exprime bien sa position d'intermédiaire ne s'engageant ni pour l'une ni pour l'autre option qui favoriserait le CA ou le BE au dépend de l'autre. L'effet est mesuré et positif : le solde est défini sur $[0 ; 5]$.

Effet sur le père



En tant que décideur son incertitude entraînerait une perte de sa légitimité. L'effet est faible : le solde est défini sur $[-1 ; 3]$. Précisons qu'il n'y a aucune information dans le cas sur une quelconque propension du père à moderniser l'entreprise.

4.5.2 Effet de la nature de la prescription

		CA	BE	André	Père
2	nature de la prescription				

La sémantique associée aux valeurs du terme de l'échange représente le degré de rationalité technique optimisatrice³⁵, de la prescription. Nous supposons de plus les hypothèses suivantes sur les conséquences de l'établissement d'une prescription plus ou moins rationnelle :

–Plus la norme est rationnelle (état = 1), plus elle légitime le BE et plus elle contraint le CA dans la production. Ce dernier se voit dès lors démunir de son savoir faire actuel pour appliquer des prescriptions nouvelles, qui de surcroît augmente la pénibilité de leur activité. Le BE ne cherche pas à être plus contraignant, mais une grande rationalité aura cet effet sur le CA.

–A l'opposé, moins la norme prescrite est rationnelle (état = -1), plus elle offre de liberté au CA, qui reste autonome à définir son activité, et plus elle contraint le BE, qui voit son travail dévalorisé et reste convaincu de par sa culture et ses études qu'il est possible de mieux faire fonctionner l'organisation.

L'espace d'état peut se diviser en trois secteurs sur chacun desquels chaque fonction d'effet a une interprétation assez stable :

Intervalle	Interprétation	Implication 1	Implication 2
$[-1 ; -0,3[$	prescription faiblement rationnelle	contrainte pour BE	autonomie pour CA
$[-0,3 ; 0,3]$	prescription neutre		
$]0,3 ; 1]$	prescription fortement rationnelle	autonomie pour BE	contrainte pour CA

Tableau 45 - Echelle d'intervalles pour l'interprétation de l'état de la relation

Les bornes du *socialement possible* sont confondues avec les bornes du *physiquement possible* : $b_{\min} = -1$, $b_{\max} = 1$.

Effet sur le CA



La forme de la fonction dépend directement de l'implication contraignante d'une norme rationnelle, et de celle favorable d'une norme peu rationnelle.

Effet sur le BE



La forme de la fonction dépend directement de l'implication favorable d'une norme rationnelle, et de celle contraignante d'une norme peu rationnelle.

Effet sur André



Une position très rationnelle, et donc contraignante pour le CA, va être difficile à faire appliquer. A l'opposé une position peu rationnelle est peu opérante aux yeux d'un ingénieur tel qu'André. On retrouve de nouveau André à cheval entre sa culture proche du BE et son rôle du côté de la production.

Effet sur le père



Le père adopte la même neutralité que André. Il n'est toutefois pas ou peu sensible aux effets d'une sur- ou d'une sous-rationalisation, d'où les soldes définis sur $[-1 ; 2]$. A l'origine d'une entreprise paternaliste, ce qui compte pour lui c'est son bon fonctionnement et notamment celui de la production.

35 Nous faisons ici référence à une rationalisation Taylorienne de l'organisation du travail qui vise l'efficacité de la production au dépend de l'autonomie des travailleurs (spécialisation extrême des postes, travail à la chaîne, ...).

4.5.3 Effet de l'application de la prescription

		CA	BE	André	Père
4	application de la prescription				

La borne b_{\min} est fixée par la relation « *contrôle de l'application de la prescription* ». La borne b_{\max} correspond à la limite *physique* supérieure ($b_{\max} = 1$) car rien ne les empêche d'appliquer intégralement, à la lettre, le contenu des prescriptions fournies par le BE. Cette bipolarité entre ne pas appliquer et respecter la prescription nous a conduit à poser de simples fonctions linéaires. Il reste alors à déterminer pour chaque acteur le type d'impact (l'amplitude du solde) et l'orientation positive ou négative pour lui selon le respect ou le non respect de l'application de la prescription.

Intervalle	Interprétation
$[-1 ; -0,4[$	freinage
$[-0,4 ; 0,4]$	n'adopte pas vraiment la prescription
$]0,4 ; 1]$	adoptent la prescription

Tableau 46 - Echelle d'intervalles pour l'interprétation de l'état de la relation

Effet sur CA



L'impact est maximal pour eux, cela touche directement à leur activité au sein de l'entreprise et surtout à leur autonomie.

Effet sur BE



Ils s'attendent à ce que leurs prescriptions soient appliquées au moins un peu. C'est pourquoi, même si le CA ne s'oriente pas vers des stratégies de freinage ($[-1 ; -0,4]$), l'effet est un peu négatif si le CA n'applique pas les prescriptions ($=0$). Ils sont toutefois moins impacté que le CA (solde $\in [-5 ; 3]$).

Effet sur André







La fonction est linéaire, de -7 à +7 : l'impact est intermédiaire entre celui sur le CA et celui sur le BE.

Effet sur le Père



Il ne se désintéresse pas de l'entreprise et de son fonctionnement. Mais l'application de la prescription est de la compétence de son fils André. Partant du principe que chacun fait son travail, le BE doit mettre en place de bonnes prescriptions et le CA doit en vérifier la bonne application. Si les résultats de l'entreprise se dégradent, on peut penser que le Père va se retourner vers les responsables et les interroger, voire les mettre en cause. Ce n'est donc pas à ce niveau que le Père est impliqué, d'où sa fonction d'effet assez neutre.

4.5.4 Effet de l'investissement dans la production

n^∞	Relations	CA	BE	André	Père
6	Investissement dans la production				

Les bornes du *socialement possible* sont confondues avec les bornes du *physiquement possible* : $b_{\min} = -1$, $b_{\max} = 1$.

Intervalle	Interprétation
$[-1 ; -0,4 [$	freinage
$[-0,4 ; 0,4]$	activité modérée
$] 0,4 ; 1]$	activité élevée, zèle

Tableau 47 - Echelle d'intervalles pour l'interprétation des soldes

Effet sur le CA



Deux hypothèses sociologiques sont cohérentes pour l'effet de l'implication au travail du CA. L'hypothèse 1 est que le travail est perçu comme une contrainte physique ou mentale. On est dans du Taylorisme ou dans la théorie X de Mac Gregor. La contrainte est balancée par le salaire, des aménagements minimisant l'effort, voire des rotations de postes. Dans un tel contexte l'implication entraîne forcément un coût.



Si l'on se positionne dans la théorie Y de Mac Gregor, l'individu n'est pas forcément réfractaire au travail et il peut y trouver de la satisfaction. La motivation n'est plus pécuniaire, elle se fonde sur la responsabilisation de l'individu via l'enrichissement des tâches, la participation à des groupes semi-autonomes ou à des cercles de qualité. Dans un tel contexte, l'implication entraîne forcément une satisfaction.

Effet sur le BE



Il n'est pas concerné par cette relation.

Effet sur André et sur le père



André et son père ont tout intérêt à ce que le CA et les hommes à la production s'investissent. La réussite de l'entreprise du père, et par ce, celle de André en dépend.

4.6 Modélisation des fonctions d'effet et de contrôle pour les relations de contrôle

Afin de modéliser une relation de contrôle il est tout d'abord nécessaire d'en préciser la relation cible. On peut dès lors définir les deux fonctions de contrôle qui fixent la marge de manœuvre du contrôleur de la relation cible. Chacune de ses deux fonctions, l'une fixant b_{\min} et l'autre b_{\max} , est définie de l'espace des choix de la relation de contrôle, $[-1 ; 1]$, vers celui de la relation cible, $[-1 ; 1]$, telle que :

$$b_{\min}(\text{cible}) = \text{contrôle_bmin}(\text{econtrôle}) ; b_{\max}(\text{cible}) = \text{contrôle_bmax}(\text{econtrôle})$$

4.6.1 Méthodologie de modélisation des fonctions de contrôle

La définition des fonctions de contrôle se fait de la même manière que pour les fonctions d'effet. Il s'agit, pour des valeurs ou intervalles remarquables (les éléments interprétables), de définir la marge de manœuvre sur la relation cible, c'est à dire l'intervalle $[b_{\min} ; b_{\max}]$. On extrapole ensuite les fonctions de contrôle à partir des points définis. Dans le cas le plus simple cela revient au moins à répondre aux questions suivantes :

1) Quelle est la marge de manœuvre du contrôleur de la cible lorsqu'il n'y aucun contrôle, c'est à dire quand $\text{econtrôle} = -1$? La marge de manœuvre peut, par exemple, être totale en l'absence de contrôle, on aura alors $\text{contrôle_bmin}(-1) = b_{\min}(\text{cible}) = -1$ et $\text{contrôle_bmax}(-1) = b_{\max}(\text{cible}) = 1$.

2) En cas de contrôle maximum, quand $\text{econtrôle} = 1$, quelle est l'autonomie restante au contrôleur de la relation cible ? On peut raisonnablement penser que le contrôleur de la régulation va réduire l'autonomie du contrôleur de la cible à un espace de choix qui lui est favorable quel qu'il soit. Si l'état de la cible est favorable au contrôleur de la régulation sur $[-0,4 ; 0,4]$, par exemple, alors pour un contrôle fort on fixera $\text{contrôle_bmin}(1) = b_{\min}(\text{cible}) = -0,4$ et $\text{contrôle_bmax}(1) = b_{\max}(\text{cible}) = 0,4$. D'autre part il semble improbable, et en tout cas en irrespect de l'hypothèse d'autonomie des acteurs que postule la SAO, que la marge de manœuvre d'un acteur contrôlant une ZI cible soit réduite à un point, c'est à dire à un seul comportement possible.

$$\begin{aligned} b_{\min}(\text{cible}) &= \text{contrôle_bmin}(\text{econtrôle}) = -0,3 * \text{econtrôle} + 0,7 \\ b_{\max}(\text{cible}) &= \text{contrôle_bmax}(\text{econtrôle}) = 0,3 * \text{econtrôle} - 0,7 \end{aligned}$$

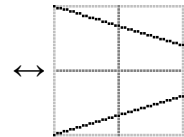


Tableau 48 - Exemple de fonctions de contrôle : formules et représentation

A partir de l'élaboration de ces points limites il est alors possible d'extrapoler les fonctions de contrôle contrôle_bmin et contrôle_bmax (figure xx), de même que nous avons procédé pour les fonctions d'effet. Ci-dessus, la question 2) implique la nécessité, bien souvent, de se référer aux fonctions d'effet de la cible sur l'acteur régulateur pour pouvoir définir les fonctions de contrôle, ainsi que de s'assurer de la cohérence générale des hypothèses posées pour définir les fonctions d'effets de la cible et les fonctions de contrôle. A titre d'exemple, on pourra considérer le cas d'un acteur régulateur qui exerçant un contrôle fort sur une ZI cible, contraint le contrôleur de la cible à une marge de manœuvre telle que quelque soit son action, l'effet de la cible sur le régulateur est toujours fort défavorable. Il apparaît alors au vu de l'interprétation sociologique (le contrôle implique son insatisfaction donc il ne contrôle pas) que, soit il y a une erreur de modélisation, soit il est nécessaire de justifier cette modélisation.

4.6.2 Effet du contrôle de la nature de la prescription

		CA	BE	André	Père
3 (c2)	contrôle de la nature de la prescription				

Si l'on conçoit bien que André puisse laisser toute marge de manœuvre au BE ($b_{\min} = -1$), on conçoit mal par contre, qu'il puisse persécuter ou user de pression physique sur celui-ci (b_{\max} vaudrait 1), son pouvoir hiérarchique a des limites ($b_{\max} = 0,8$).

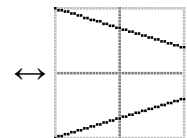
Fonctions de contrôle



Pour définir les fonctions de contrôle nous allons définir la marge de manœuvre du BE lors d'une absence de contrôle et lors d'un contrôle total. Lorsqu'il n'y a pas de contrôle ($ec_3 = -1$) la marge de manœuvre est totale : $b_{\min}(\text{nature de la prescription}) = -1$ et $b_{\max}(\text{nature de la prescription}) = 1$. Lorsque le contrôle est totale on fait l'hypothèse que André oriente la nature des prescriptions du BE sur un intervalle qui lui est favorable. Si l'on se rappelle que l'effet (figure ci contre) de la nature de la prescription sur André est positive pour une *prescription neutre* $([-0,4 ; 0,4])$ alors on pose $b_{\min}(\text{nature de la prescription}) = -0,4$ et $b_{\max}(\text{nature de la prescription}) = 0,4$. On choisit de définir des fonctions de contrôle linéaire. On retrouve ainsi celles de l'exemple précédent :

$$b_{\max}(\text{nature de la prescription}) = \text{contrôle_b}_{\max}(ec_2) = 0,3 * ec_3 - 0,7$$

$$b_{\min}(\text{nature de la prescription}) = \text{contrôle_b}_{\min}(ec_2) = -0,3 * ec_3 + 0,7$$



Effet sur le CA



L'exercice d'un contrôle plus ou moins fort sur le BE ne les affecte pas directement.

Effet sur le BE



Pas ou peu de contrôle leur va très bien. Ils se satisfont encore d'un contrôle modéré (jusqu'à 0,3/0,4) non pas tant parce que le rôle de régulation d'André est accepté, mais car la marge de manœuvre alors offerte leur permet encore de se fixer un solde maximum. Au delà le contrôle est perçu de plus en plus négativement.

Effet sur André



Ne pas contrôler, comme contrôler à l'excès entraîne une forte insatisfaction car il sortirait totalement de son rôle. On suppose d'une part que André a une certaine fierté à s'acquitter de sa fonction, et d'autre part qu'un contrôle excessif est fatigant à exercer.





Effet sur le père



La fonction d'effet du père a la même forme que celle de André pour les mêmes raisons. L'intensité de l'effet est toutefois quasiment nulle car il n'est pas directement responsable.

4.6.3 Contrôle de l'application de la prescription

(c'est ce qui détermine la marge de manœuvre (autonomie) des producteurs)

		CA	BE	André	Père
5 (c4)	contrôle de l'application de la prescription				

Pour les mêmes raisons que pour la précédente relation André ne peut exercer un contrôle strict. Sa marge de manœuvre sur cette relation est donc $[-1 ; 0,8]$.

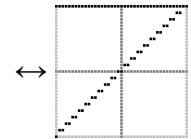
Définition des fonctions de contrôle

On suppose que André, en tant qu'ingénieur, est convaincu que l'organisation du travail telle, qu'elle est prescrite par le BE, est optimale. Dès lors, si la production adopte totalement la prescription, il ne s'en plaindra pas. De fait l'exercice de son contrôle n'affectera pas la contrainte supérieure (b_{\max}) dans l'application de la production. Celle-ci est donc fixée à 1. Si le CA veut totalement appliquer la prescription, libre à lui.

Concernant la borne inférieure de la marge de manœuvre du CA, celle-ci peut dans le meilleur des cas être totale ($b_{\min} = -1$), alors que dans le pire des cas (qui n'est théoriquement pas atteignable) sa marge peut être réduite à ce qui est favorable à André, c'est à dire qu'il les contraint à appliquer la prescription ($b_{\min} = 1$). On obtient ainsi sur les fonctions de contrôle linéaires suivante :

$$b_{\max}(\text{application de la prescription}) = \text{contrôle_bmax}(\text{ec4}) = 1$$

$$b_{\min}(\text{application de la prescription}) = \text{contrôle_bmin}(\text{ec4}) = \text{ec3}$$



Effet sur le CA



Pas ou peu de contrôle leur va très bien et il se satisfont encore d'un contrôle modéré (jusqu'à 0,3/0,4). Au delà le contrôle est perçu de plus en plus négativement.

Effet sur le BE



L'exercice d'un contrôle plus ou moins fort sur le CA ne les affecte pas directement.

Effet sur André



Ne pas contrôler du tout lui attire des reproches de ne pas remplir sa fonction ; contrôler excessivement est contraignant.

Effet sur le père



L'argumentation du choix de cette fonction est la même que pour l'effet du contrôle de la nature de la prescription sur le père.

5 Simulations

Dans cette section nous allons explorer les conséquences de l'adoption de l'une et l'autre

des hypothèses X et Y de Mac Gregor sur les motivations au travail. L'objectif est uniquement d'illustrer la démarche d'analyse des résultats de simulations et d'interprétation dans un cadre de raisonnement assisté par l'expérimentation virtuelle. C'est pourquoi nous adopterons un protocole expérimental des plus simples comparé à une exploration exhaustive des paramètres telle que nous l'avions réalisée au chapitre précédent. Nous présentons tout d'abord le protocole expérimental. Nous présentons et interprétons ensuite les résultats pour chaque hypothèse avant de conclure.

La question de fond posée par le cas est de savoir si la machine sera ou non achetée. Le problème que nous soulevons par la comparaison des hypothèses X et Y est de savoir si la vision plus ou moins satisfaisante de l'investissement dans la production aura un impact sur la décision finale d'achat de la machine. Par ailleurs l'intérêt de disposer de deux hypothèses, s'inscrit typiquement dans une démarche de raisonnement assisté par l'expérimentation virtuelle. En effet le raisonnement sur la modélisation collective du cas Bolet avec les sociologues a fait consensus sur quasiment tous les points sauf un. Dès lors plutôt que de continuer les argumentations et contre-argumentations, sur l'une ou l'autre des hypothèses, sans vraiment en maîtriser les conséquences, pourquoi ne pas expérimenter chacune d'elle et en analyser les effets ? Dès lors, l'objectif recherché n'est pas de valider le modèle par une corrélation entre les résultats de simulations et les données du cas³⁶, mais d'illustrer l'aspect pédagogique et rigoureux qu'offre l'expérimentation virtuelle aux sciences sociales.

5.1 Analyse statique du cas Bolet selon la théorie X de Mac Gregor

5.1.1 Indicateurs structurels basés sur les enjeux

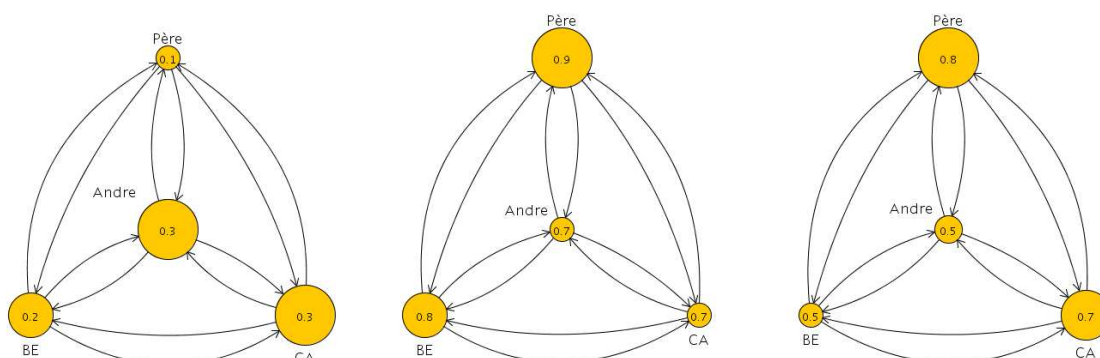


Figure VI.2 - Autonomie, engagement social, et centralité des acteurs.

Commençons par les indicateurs basés sur les enjeux (Figure VI.2 et Figure VI.3). Les acteurs sont peu autonomes (Figure VI.2), et surtout le père (10%) qui, à la tête de la pyramide, dépend de l'activité de la base pour être satisfait. Le BE dispose d'un peu moins d'autonomie (20%) que le le CA et André (30%). Les trois acteurs de la base ont un *engagement social* important (50% pour le BE et André, 60% pour le CA) qui dénote du poids des liens sociaux au sein du système. Le père a un engagement social quasi-total (90%). Il est solidaire de la base, dont il dépend, bien sûr, mais avec qui il a développé son entreprise. Le lien est rationnel certes mais également affectif. C'est sur ce principe paternaliste, qu'il assure sa légitimité. Cette légitimité se dénote dans la forte solidarité que lui octroie le CA est qui lui assure une forte *centralité* (80%). La *centralité de solidarité* d'un acteur que nous proposons exprime le rapport

36 Si tel est le cas, on ne pourra que s'en féliciter. En l'occurrence la machine n'est pas achetée suite à la proposition du fils Bolet qui a engendrée des conflits sociaux évidents.

entre l'intensité cumulée des solidarités attribuées par les autres acteurs et celle incluant en plus celle que l'acteur s'accorde. La centralité d'un acteur co-varie ainsi avec son engagement social et avec l'intensité des solidarités qu'il reçoit des autres. La centralité élevée du père s'interprète comme une marque de sa légitimité, parce que nous considérons que les solidarités qu'il propose et celles qu'il reçoit sont positives. Ce qui n'est pas le cas pour le CA, dont la forte centralité (70%) est en partie due à la forte solidarité du père mais également à la forte opposition mutuelle qu'il entretient avec le BE. La centralité de Jean et André (50%) n'exprime rien de plus que déjà évoqué.

Au niveau de ce que l'on pourrait appeler découverte émergente de propriétés intéressantes pour les organisations multi-agents, on retiendra l'usage la centralité de solidarité comme indicateur de légitimité.

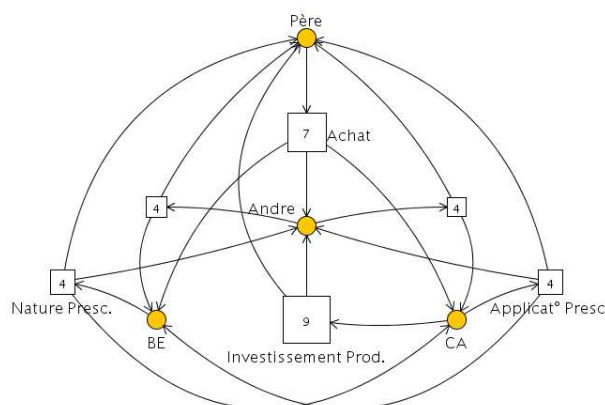


Figure VI.3 - Pertinence des relations (qui tient compte des solidarités).

La figure Figure VI.3 présente la pertinence des différentes relations. Parmi les relations celle qui attire le plus les enjeux des acteurs est la décision d'achat (7) qui caractérise la source d'incertitude liée au changement technique et organisationnel, et l'investissement dans la production. Le père contrôle la deuxième relation la plus pertinente et le CA le première. Le CA contrôle de plus l'application de la prescription (4) dont la nature (4) est maîtrisée par le BE. Ces deux relations sont régulées par les relations que contrôle André (4 et 4). A l'aune de ses informations le jeu semblerait dominé par le CA, régulé par André et fortement influencé par le père. Le BE ne dispose que de peu de ressources pertinentes pour atteindre ses objectifs.

Ainsi la structure des enjeux et des solidarités oriente vers une issue peu favorable au objectif du BE. Afin de confirmer ces hypothèses il faut toutefois tenir compte des indicateurs basés sur les effets des relations.

5.1.2 Indicateurs structurels basés sur les effets : pouvoir

Nous allons maintenant procéder à une analyse un peu plus fine du pouvoir potentiel des différents acteurs en mobilisant les indicateurs de pouvoir (voir *chapitre IV*) qui tiennent non seulement compte des enjeux et des solidarités, mais surtout des effets potentiels des différentes relations. Nous nous poserons assez simplement les questions suivantes :

- Quel est le pouvoir potentiel de chaque acteur ?
- Sur quels acteurs et dans quelles mesure chaque autre peut en être affecter ?
- Par quelles relations chacun peut-il l'exercer ?

Lorsque l'on s'intéresse au pouvoir de chaque acteur dans un modèle où le poids des

solidarités est important, deux indicateurs peuvent être mobilisés : le pouvoir cumulé et le pouvoir maximal d'un acteur. Ce qui est intéressant avec l'emploi de chacun de ces indicateurs sur le présent cas est de constater que l'ordre et le poids relatif entre les différents acteurs est inchangé (Figure VI.4). Ainsi le CA est l'acteur qui dispose de plus de pouvoir (pouvoir cumulé : 149, pouvoir maximal : 63). Le père et André disposent d'environ la moitié du pouvoir du CA (pour le père : 83 et 38, pour André : 79 et 37). Enfin le BE est l'acteur qui dispose du plus faible pouvoir potentiel à hauteur de la moitié de celui du père et d'André (pouvoir cumulé : 43, pouvoir maximal : 22). Par ailleurs ces résultats confirment point par point les précédents résultats issus des indicateurs à base d'enjeu et de solidarité.

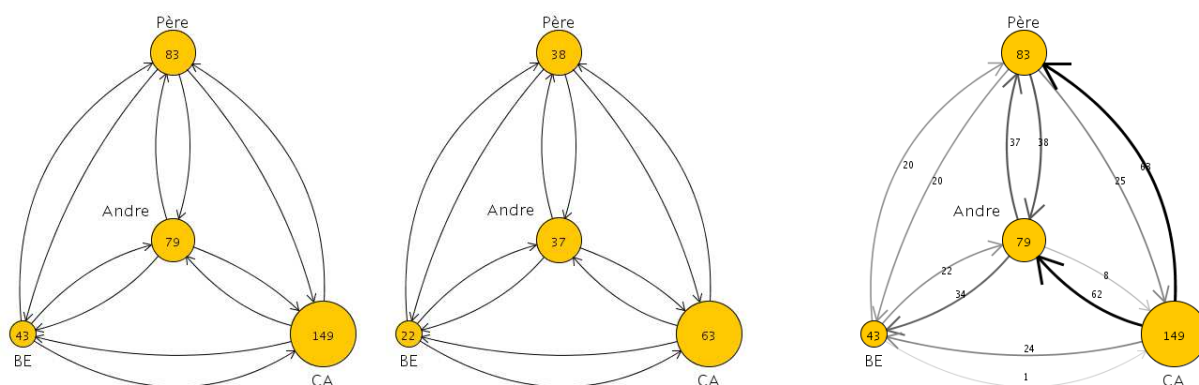


Figure VI.4 - Pouvoir structurel des acteurs. Les nœuds sont pondérés par le pouvoir structurel cumulé (\neq gauche et \neq droite), par le pouvoir structurel maximal (au centre). Les arcs de la figure de gauche sont pondérés par le pouvoir structurel d'un acteur sur un autre.

Le troisième réseau de la figure Figure VI.4 rend compte du pouvoir structurel des acteurs les uns sur les autres. Les relations entre le BE et le Père ainsi qu'entre le Père et André sont équilibrées, c'est à dire que le pouvoir que l'un exerce sur l'autre peut être contrebalancé par ce dernier. André a un peu plus de pouvoir (34) sur le BE que celui-ci peut en exercer en retour (22). Le CA domine le jeu sans commune mesure que ce soit avec le père (68 contre 25), André (62 contre 8), ou avec le BE (24 contre 1). Nous notons quand même deux points importants afin de relativiser la conclusion qui s'impose quant à la domination du jeu par le CA. Nous constatons en premier lieu que le BE est plus dominé par André que par le CA. En second lieu, ces mesures ne tiennent pas compte de la capacité d'André à réguler le jeu. Il peut notamment court-circuiter la marge de manœuvre du CA sur l'application de la prescription et ainsi lui court-circuiter le pouvoir qu'il retire de cette relation.

L'exploration de la force des relations permet de rendre compte avec plus de finesse du rôle de chacune dans le pouvoir qu'en retire chaque acteur. Sur la figure Figure VI.5 nous avons représenté la force cumulée et la force maximale de chaque relation. Comme pour les pouvoirs maximaux et cumulés, les forces maximales et cumulées préservent à peu près les ordres et grandeurs relatifs. Seule la nature de la prescription et de sa relation de contrôle ont leur ordre inversé. Nous retrouvons plus ou moins les mêmes résultats que ceux donnés par la pertinence de chaque relation. Une différence apparaît toutefois. La pertinence des relations nous montrait que les enjeux des acteurs étaient répartis de manière équivalente sur les relations de régulation de l'organisation (établissement de la règle, contrôle de son établissement, application et contrôle sur l'application de la règle). Relativement aux relations contrôlées, la force révèle que les relations de contrôle permettent plus (en potentiel) à celui qui les contrôle qu'elles ne suscitent d'intérêt. Ces relations de contrôle sont ainsi une source de pouvoir en plus d'être par nature une

source de contre-pouvoir sur les relations qu'elles régulent. Et c'est parce qu'André dispose de ce pouvoir que nous pouvons faire l'hypothèse qu'il sera à même d'assurer son rôle de régulateur du système afin que l'organisation fonctionne. Toutefois si la relation de contrôle peut contrebalancer l'application de la prescription, André n'a aucun pouvoir direct sur l'investissement dans la production qui est la relation ayant la plus grande force (150). Enfin la décision d'achat de la machine est, presque au même niveau, la seconde relation la plus forte (133).

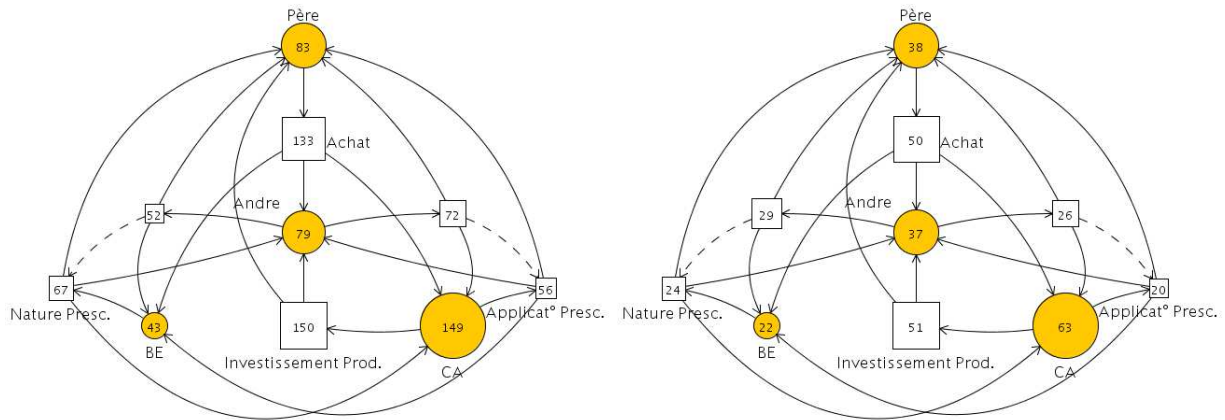


Figure VI.5 - Force des relations. Les nœuds-acteurs (cercles) sont pondérés par le pouvoir structurel (cumulé sur le réseau de gauche, maximal sur celui de droite). Les nœuds-relations sont pondérés par la force (cumulée \neq gauche, maximale \neq droite).

Le détail de la force des relations sur les acteurs (Figure VI.6) met en évidence les relations qui peuvent le plus affecter la capacité d'action des acteurs qui en dépendent. Le schéma confirme ce qui a été postulé jusqu'à présent si ce n'est que la force du contrôle sur le CA est légèrement inférieure (16) à celle de l'application de la prescription sur André (20). La régulation de cette relation est loin d'être assurée d'autant plus qu'André est fortement sensible à la force de l'investissement dans la production.

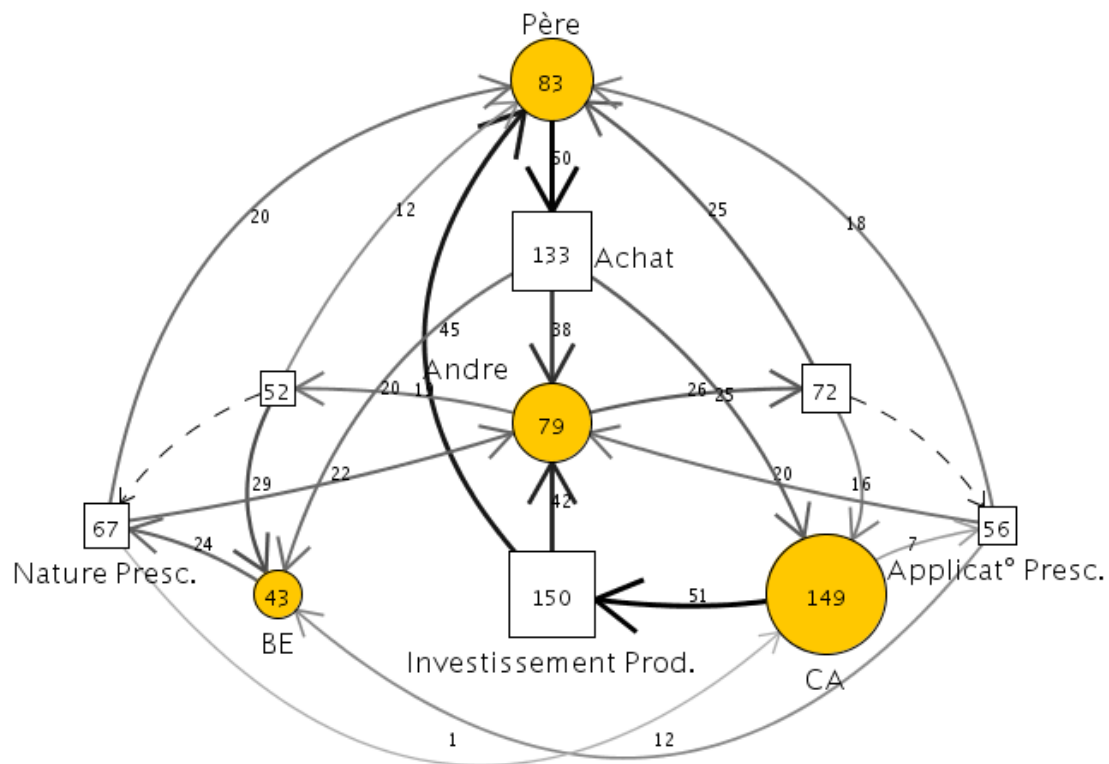


Figure VI.6 - Force des relations sur les acteurs. Les nœuds-acteurs sont pondérés par le pouvoir cumulé. Les nœuds-relations sont pondérés par la force cumulée.

Comme nous l'avons précisé au chapitre IV, ces indicateurs ne sont pas complets. Ils ne tiennent pas forcément compte de l'impossibilité potentielle d'influencer plusieurs acteurs en même temps, ni ne précisent l'orientation coopérative ou antagoniste de l'exercice du pouvoir. Afin de mieux comprendre ce qui est au final possible il est nécessaire de comprendre ce qu'implique les différents états du système.

Nous allons premièrement nous intéresser aux états de satisfactions remarquables du système. Ceux-ci permettent d'une part de souligner des antagonismes ou des covariances d'intérêts, et d'autre part d'établir des repères interprétatifs pour l'analyse des résultats de simulations. Nous rendrons ensuite compte des différents états sur le pouvoir de chaque acteur, sur ce que chacun donne et sur ce que chacun concède dans ses transactions.

5.1.3 Analyse des états remarquables

Le tableau Tableau 49 présente les valeurs de satisfaction de chaque acteur et les valeurs d'états de chaque relation pour les situations correspondant aux maximum et au minimum des satisfactions de chaque acteur, ainsi que de la somme des satisfactions de l'ensemble des acteurs du SAC. Pour chacun de ces états du système, la satisfaction cumulée est également présentée. Le sens de lecture du tableau pour mener l'analyse est du bas vers le haut, c'est-à-dire des satisfactions cumulées aux états, en passant par les satisfactions individuelles des acteurs.

Etats remarquable pour les Satisfactions		
Cumulée	Max	Min

	max	min	CA	BE	André	Père	CA	BE	André	Père
Décision d'achat	-6	10	-10	6	-5	-7	7	-10	10	10
Nature de la prescription	1	-10	-6	4	0	-2	10	-10	-10	10
☞ Contrôle nature	-2	10	10	-5	-2	-2	-10	10	10	10
Application de la prescription	10	-10	-10	10	10	-10	10	-10	-10	10
☞ Contrôle application	-2	8	-8	2	-2	-4	8	-10	8	8
Investissement dans la production	5	-5	4	10	5	4	-4	-10	-5	-4
CA	29,6	-23	64	-31,7	32,4	53,1	-63,2	44	-23	-53,5
BE	18,5	-27,2	-54,5	68,9	14,6	-16	40,3	-80,3	-27,2	16,6
André	44,3	-44,2	2,6	21,8	44,5	33,1	-24,7	-24,5	-44,2	-34,5
Père	37,7	-36,5	27,1	-5,9	38,4	42,5	-36,5	13,6	-36,5	-43,3
Satisfaction cumulée	130,1	-131	39,1	53	129,9	112,7	-84,1	-47,2	-131	-114,8

Tableau 49 - Etat remarquable pour les satisfactions (colonnes). Pour chaque état est donné l'état de chaque relation, la satisfaction de chaque acteur et la satisfaction cumulée.

On remarque tout d'abord que la satisfaction cumulée maximale est de 130,1 (première colonne, dernière ligne), ce qui correspond à peu de choses, au résultat obtenu (129,9) pour l'état où André maximise sa satisfaction (colonne 5). Par ailleurs, la valeur correspond à l'opposée de la satisfaction cumulée minimum (-131, avant-dernière colonne, dernière ligne). Le point le plus important reste que l'état associé à une valeur maximum de la satisfaction cumulée correspond à celui associé à la satisfaction maximum d'André. André est ainsi obligé d'assurer la coordination entre les différents acteurs pour espérer être au mieux satisfait. De même l'état de satisfaction cumulée minimum (colonne 2, dernière ligne) correspond à son état de satisfaction minimum (avant-dernière colonne, dernière ligne), et il va bien sûr chercher à éviter cette situation. Ce résultat est des plus important car il tend à valider la modélisation du cas où André joue le rôle de marginal sécant assurant la régulation des conflits d'intérêt entre le CA et le BE. La satisfaction maximum du père conduit également à un fort niveau de satisfaction cumulée (113, colonne 6) à l'opposée des conséquences de l'atteinte de sa satisfaction minimum (-115, dernière colonne). Alors que la satisfaction maximale d'André assure une satisfaction positive et assez bien répartie pour chaque acteur (bien que le BE soit un peu en retrait), celle du père est pénalisante pour le BE. Inversement la satisfaction maximum du BE est pénalisante pour le père et encore plus pour le CA dont la satisfaction maximum à son tour pénalise très fortement le BE. Il se dégage ainsi que :

- les objectifs du père et ceux du BE sont en opposition,
- les objectifs du CA et ceux du BE sont en très forte opposition.

L'analyse des valeurs des relations pour les états de satisfactions cumulées maximum et minimum est des plus clair. Tout d'abord l'état de satisfaction cumulée maximum (colonne 1) est atteint si :

- le père refuse l'achat de la machine (-6, ligne 1). Le refus est assez prononcé (l'intervalle [-10 ; -4[correspond à cette valeur),
- le BE établit des règles neutres en terme de rationalité et modestement contraignante

dans l'organisation du travail de la production (1, ligne 2),

- André n'exerce pas de contrôle sur le BE (-2, ligne 3) ni sur le CA (-2, ligne 5) mais un peu afin d'assurer son rôle.
- Si le CA assure la production (5, ligne 6).

La comparaison des états des relations en fonctions des états remarquables de satisfaction nous montre que pour atteindre la satisfaction cumulée maximale, les acteurs doivent jouer un jeu à la Nash, celui consistant à maximiser leur satisfaction par les relations qu'ils contrôlent, sauf pour la nature de la prescription et son application. Ces deux relations se présentent comme un jeu perdant-gagnant pour le CA et le BE. Il s'en dégage alors ici un système d'action concret tel qu'on le retrouve dans le cas d'étude de Bernoux [Bernoux, 1985], qui met en jeu uniquement le CA, le BE, et André en tant que régulateur.

Ces résultats assurent donc la validation de la modélisation. Le modèle ajoute toutefois bon nombre d'hypothèses en plus comme l'introduction du père dans le jeu et l'importance des solidarités entre les acteurs qui sont autant d'éléments explicatifs du cas. En effet sans le père et les solidarités qu'il attribue et qu'il suscite la donne serait toute autre. Dans ce modèle l'issue quant à l'achat de la machine semble tracée. Les indicateurs laissent supposer que le CA et le BE vont en quelque sorte s'affronter, que André va réguler cet affrontement, et que le père tranchera sur la question de l'achat essentiellement à cause des solidarités positives et réciproques qu'il entretient avec le CA.

5.1.4 Pouvoir, don, concession

Enfin il est possible d'obtenir plus d'information sur l'issue du conflit entre le BE et le CA en analysant le pouvoir des acteurs, ce qu'ils peuvent apporter au système, aux autres, à eux même, et à quelles concessions cela les conduit.

Concernant l'autonomie de moyen (Tableau 50) , le CA dispose d'un avantage sur les autres en ce qu'ils dispose quasiment pour moitié (44%) des moyens nécessaires à atteindre sa satisfaction maximale. Le BE dispose de 20%, André de 12% et le père de 15%. Que ce soit en valeur relative à sa satisfaction maximum ou en valeur absolue le CA est capable de s'assurer plus par et pour lui que ne le peuvent les autres. L'indicateur d'autonomie basé sur les enjeux laisse déjà supposer l'avantage du CA, par contre André semblerait disposer de moins d'autonomie. Ce résultat s'explique par le fait que les relations de contrôle que maîtrise André ne sont pas prises en compte.

	CA	BE	André	Père
Satisfaction auto-attribuée maximum (optimiste)	17,8	11,2	16,8	17
Rapport à la satisfaction maximale de l'acteur	44 %	21 %	12%	15 %

Tableau 50 - Autonomie de moyen des acteurs dans le meilleur des cas (pas de contrainte d'André sur la marge de manœuvre du CA et du BE)

En effet, l'autonomie de moyen du tableau Tableau 50 est donné par la somme des impacts maximum des relations que contrôle chaque acteur. Les résultats diffèrent si l'on considère la pire marge de manœuvre pour les relations régulées, c'est à dire celle que peut déterminer André (Tableau 51). Sous cette hypothèse la marge de manœuvre du CA se retrouverait bien amputée.

Si le cas est possible, il n'en demeure pas moins improbable au regard de lien entre le CA et le père, de la neutralité du BE et surtout du pouvoir du CA.

	CA	BE	André	Père
Satisfaction auto-attribuée maximum (pire des cas)	7	11	16,8	17
Rapport à la satisfaction maximale de l'acteur	18 %	21 %	12%	15 %

Tableau 51 - Autonomie de moyen des acteurs (André exerce le pire contrôle envisageable sur la marge de manœuvre du CA et du BE).

Le tableau Tableau 52 présente les indicateurs de pouvoir et de concession de chaque acteur en fonction des états des relations qu'ils contrôlent :

- Le pouvoir consiste en l'intensité de ce qu'un acteur peut ôter ou offrir comme capacité d'action aux autres.
- Le *don* est l'indicateur qui indique l'orientation positive ou négative globale de l'exercice du pouvoir sur les autres. Le *don* consiste au même calcul que le pouvoir sans (somme des valeurs absolues des impacts des relations contrôlées sur les autres) sans la valeur absolue. Le don est assez basiquement la capacité d'action fournie aux autres.
- Enfin la concession consiste à la mesure de la capacité d'action concédé par un acteur

Le père (colonne 1) tire son *pouvoir* (ligne 1) de la décision d'achat de la nouvelle machine. S'il s'engage dans l'une ou l'autre option son pouvoir est fort (environ 60) alors que la neutralité ou l'incertitude lui confère un faible pouvoir. Ce qu'il *donne* (ligne 2) effectivement aux autres est au mieux de 20 en cas de non achat de la machine. L'achat de la machine pénalise globalement les autres (-10). Il ne *concède* (ligne 3) rien en refusant l'achat de la machine, alors que la neutralité, ou pire la décision d'acheter la machine lui coûte énormément (-35). L'orientation du jeu du père est donc très claire : *pas d'achat*.

Le BE (colonne 2) a un *pouvoir* (ligne 1) maximum faible (20) s'il propose une prescription extrême : trop rationnelle ou sans fondement. Ce pouvoir s'applique aux autres de manière plutôt négative dans le cas d'une prescription très rationnelle (*don* aux autres de -20). Une prescription totalement infondée apporte plus aux autres (don d'environ 14), mais l'option la plus avantageuse pour les autres serait qu'il choisissent une prescription plutôt neutre (don d'environ 18). Enfin la *concession* (ligne 3) qu'il fait en donnant le plus aux autres n'est pas nulle (environ -18). Elle est forte pour les cas de production d'une règle contraignante, et nulle pour tout les autres cas.

André dispose d'un *pouvoir* (colonne 3) maximum fort (50), pouvoir théorique qu'il ne peut atteindre car il devrait appliquer un contrôle extrême sur le BE et le CA qui est en dehors de sa marge de manœuvre ([-10;8] pour les deux relations). Le pouvoir maximum auquel il peut accéder, s'obtient dans trois cas distinct : un contrôle neutre plutôt faible pour le BE (abscisse) et pour le CA (ordonnée), un contrôle fort du BE et faible du CA, ou l'inverse. L'exercice de son pouvoir est plutôt positif (ligne 2, *don* > 0). A son maximum l'application du pouvoir d'André apporte aux autres (don de 40) et ne lui coûte rien (ligne 3, *concession* de 0). Les options qui pénalise les autres le pénalisent également. Il risque donc de jouer la neutralité.

Père	BE	André	CA (théorie X)	CA (théorie Y)
<i>Abscisse : achat</i>	<i>Abscisse : nature</i>	<i>Abscisse : contrôle</i>	<i>Abscisse :</i>	<i>Abscisse :</i>

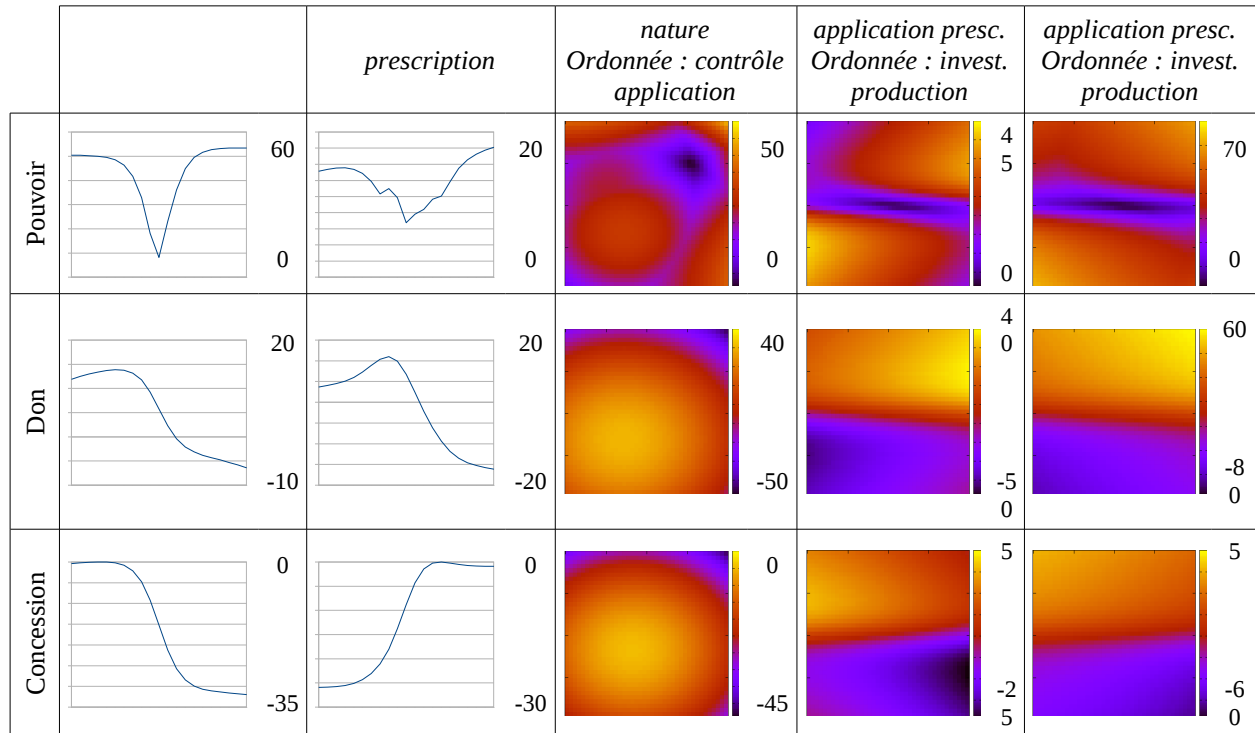


Tableau 52 - Pouvoir, don, et concession des acteurs en fonctions des différents états possibles.

Le CA (colonne 4) a, tout comme André, un fort *pouvoir* maximum (45, ligne 1) qui se retrouve pour toutes les situations ou il n'est pas neutre dans la production (abscisse). L'investissement dans la production a un effet d'autant plus fort sur les autres acteurs qu'il s'engage ou se désengage de la production. Au delà d'un certain seuil (-5 pour de désengagement et 5 pour l'engagement) cette tendance s'inverse un peu. Par ailleurs l'application ou la non application de la prescription (ordonnée) par le CA réduit son pouvoir sur les autres. Plus il s'investit dans la production et plus il *donne* (ligne 2) aux autres et inversement. Le fait de s'investir pas mal dans la production correspond à celui de concéder peu (ligne 3). Il va donc probablement orienter son jeu vers l'investissement dans la production, pas au maximum mais de façon modérée (5) afin de minimiser ce qu'il concède et d'apporter aux autres une satisfaction conséquente. Dans cette situation, le respect de la prescription ne coûtant globalement pas beaucoup aux autres (ligne 2), il va encore choisir l'option qui minimise ce qu'il concède (ligne 3) : ne pas respecter la prescription.

L'analyse confirme donc bien ici encore la confrontation certaine entre le BE et le CA autour de l'établissement de la règle et de son application.

5.2 Analyse statique du cas Bolet selon la théorie Y de Mac Gregor

Dans le Tableau 52, nous avons également représentés les valeurs du pouvoir, du don et de la concession du CA pour le modèle soutenant l'hypothèse Y de Mac Gregor. Les indicateurs sont identiques pour les autres acteurs quelque soit l'hypothèse X ou Y. Comparée à la théorie X, deux points sont notables :

- l'amplitude des valeurs est plus importante mais la forme reste la même,
- le seuil au delà duquel l'investissement dans la production amenuisait son pouvoir disparaît, car le CA trouve une forme d'intérêt à s'investir totalement dans la production.

Ces deux constats conduisent directement aux mêmes conclusions que pour la théorie X et il semblerait que l'investissement dans la production ne soit pas le facteur du rejet de l'achat de la machine, bien que cette relation soit une source de pouvoir importante pouvant influencer sur la décision finale.

5.3 Simulations

5.3.1 Protocole expérimental

Le protocole expérimental que nous présentons ici est strictement identique pour chacune des hypothèses X et Y que nous allons tester. Le protocole consiste donc à produire une centaine de simulations du modèle décrit à la section 4, chaque simulation se déroulant en au maximum 10000 tours de jeu et s'arrêtant lorsque chaque acteur dispose d'un niveau de satisfaction supérieur à son seuil. Chaque simulation, ou expérimentation, a la même initialisation concernant la structure du jeu, et les mêmes paramètres concernant les modèles d'acteur. Pour chaque acteur les paramètres sont identiques. Seul le paramètre *scope* permettant de distinguer les différents état du jeu avec plus ou moins de finesse se distingue d'un acteur à un autre. Pour chacun d'eux, il s'agit d'une valeur correspondant aux 1/6 de la distance entre le maximum et le minimum de la satisfaction de l'acteur. Ce choix permet de fixer un nombre maximum de règles identiques pour chaque acteur. Par ailleurs le nombre sera faible (environ 3 au maximum). Ainsi, d'une part nous faisons le pari que la dynamique organisationnelle peut émerger d'un petit nombre de règles, et d'autre part nous évitons une analyse de la mécanique du modèle³⁷. Enfin chaque relation est initialisée à 0, ce qui correspond à une valeur neutre. Il n'est donc pas question ici de procéder à une étude de la sensibilité du modèle aux paramètres de départ.

Les tableaux suivants (Tableau 46) reprennent les valeurs des paramètres des acteurs pour le protocole correspondant à l'hypothèse X et pour celui correspondant à l'hypothèse Y de Mac Gregor.

Acteur	scope	reward	oblivion	force initiale	scope	reward	oblivion	force initiale
CA	16.8	5.0	1.0	10	16.8	5.0	1.0	10
BE	12.8	5.0	1.0	10	12.8	5.0	1.0	10
Andre	12.9	5.0	1.0	10	12.9	5.0	1.0	10
Pere	9.8	5.0	1.0	10	9.8	5.0	1.0	10
théorie X					théorie Y			

Tableau 53 - Paramètres des acteurs pour la théorie X et la théorie Y de Mac Gregor

L'analyse des résultats se fera en deux grandes étapes : l'analyse des simulation du cas pour l'hypothèse de la théorie X, puis pour celle de la théorie Y, puis une analyse comparative. Pour chaque théorie on observera les états moyens à convergence de chaque relation, et notamment celui de la décision d'achat, ainsi que les satisfactions des différents acteurs. On affinera ensuite l'interprétation par une analyse des transactions entre les acteurs à l'aide des différents indicateurs présentés au chapitre VI. Par ailleurs nous rappelons que les interprétations que nous faisons des résultats sont fonction de l'échelle qualitative fixée au préalable à la section précédente (**section**).

37 A ce sujet voir le précédent chapitre **réf chap. rationalité de l'acteur**

5.3.2 Analyse des simulations pour la théorie X

Le tableau Tableau 48 renvoie la valeur moyenne de l'état de chaque relation à convergence des simulations ainsi que l'écart type. Toutes les simulations convergent. L'écart type étant assez faible pour chaque relation (moins de 15% de l'amplitude du domaine de valeur) les valeurs des moyennes sont exploitables. Les traces de simulations du tableau Tableau 47 permettent une confirmation visuelle.

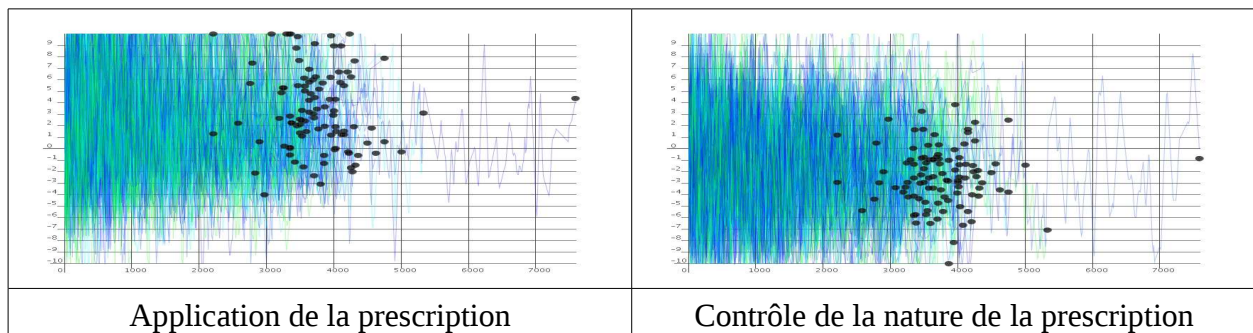
Etats des relations

Ce que l'on constate de prime abord est que l'état moyen concernant la machine ne sera certainement pas achetée (-8,1). Même si quelques simulations (Tableau 47) donnent au mieux une incertitude négative quant à l'achat (état à -2) la grande majorité des simulations affichent nettement une prise de position du père totalement négative (-10).

RELATION	Moyenn e	Ecart Type
Décision d'achat	-8.1	2.1
Nature de la prescription	4.7	2.3
↩ Contrôle nature	-2.4	2.0
Application de la prescription	3.4	2.9
↩ Contrôle application	-1.4	1.7
Investissement dans la production	6.1	1.9

Tableau 54 - Termes de l'échange (valeurs moyennes à convergence)

Dans un modèle d'organisation où les dirigeants adoptent la théorie X, la prescription est plutôt rationnelle et le contrôle assez serré. Nos résultats indiquent que la nature de la prescription est effectivement assez rationnelle mais pas totalement (4,7), ce n'est pas non plus un règlement très stricte. Ce résultat n'est pas dû au contrôle qu'aurait pu effectuer André qui reste plutôt neutre (-1,4). Le contrôle de l'application de la prescription est plutôt lâche (-2,4). On ne peut toutefois présumer que cette relation n'ait eu aucun effet sur le comportement du CA car la prescription semble être un minimum appliquée (3,4) alors qu'elle est pénible pour ce dernier. Il semble donc qu'André ait joué un rôle de régulateur/médiateur entre le CA et le BE, ce qui permet à chacun de s'y retrouver un minimum, tout en assurant à André de rester dans les obligations de contrôle qu'impose son rôle. Ceci se vérifie d'autant plus par l'effort conséquent du CA dans la production (6,1).



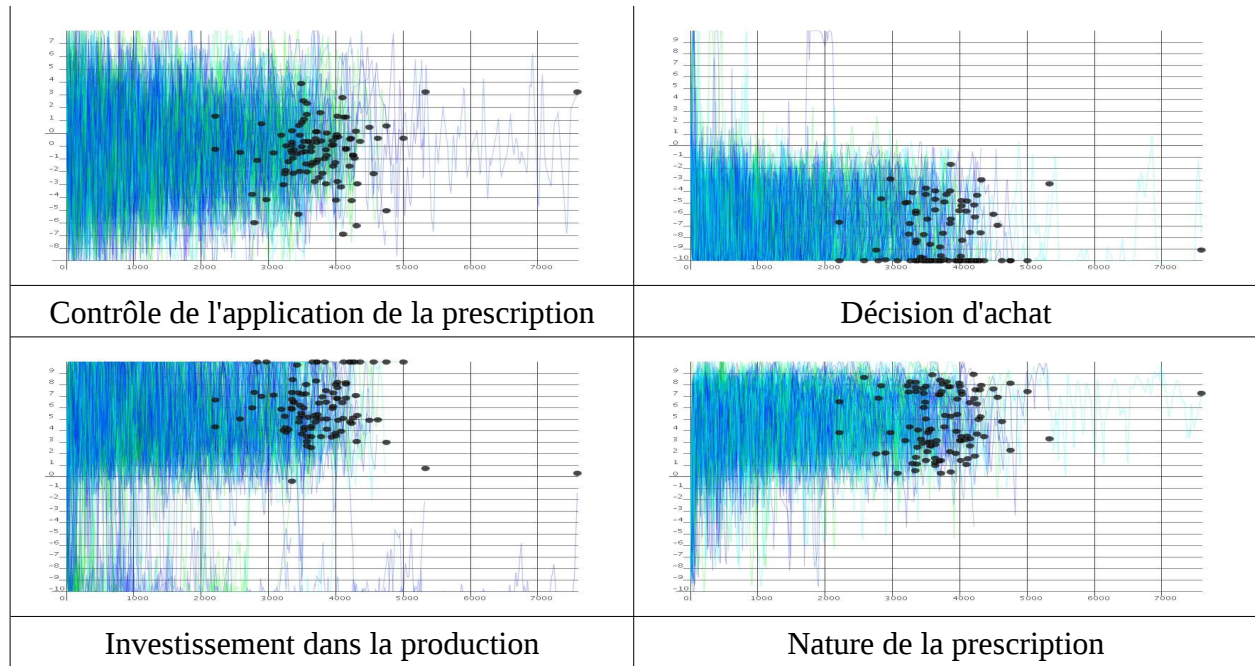


Tableau 55 - Traces des états des relations. La fin de chaque simulation est marqué par un point.

Les résultats sont par ailleurs robustes. L'écart type le plus fort concerne l'application de la prescription (2,9) et correspond à 15% de l'étendue de la marge de manœuvre sur chaque relation ($10 - (-10) = 20$ pour les relations normale et $8 - (-10) = 18$ pour les relation de contrôle). Les écarts types pour les autres relations sont de l'ordre de 10%.

Satisfactions

Les satisfactions moyennes des acteurs sont proches de celles obtenues dans un état de satisfaction cumulées maximum. Les acteurs ont donc fini par adopter un jeu coopératif. Par rapport à l'état de satisfaction maximale le BE et le CA ne perdent qu'un point de satisfaction, alors que le père en perd 4 et André 8.

ACTEUR	Moyenn	Ecart	Ecart maximum :	Ecart type / écart	
R	e	Type	satisfaction_max - satisfaction_min	maximum	
CA	28.8	1.9		127,2	1,5%
BE	17.0	1.8		149,2	1,2%
André	36.1	2.9		88,7	3,3%
Père	33.7	2.0		85,8	2,3%

Tableau 56 - Valeurs moyennes et écarts types à convergence de l'état des relations

Concernant les satisfactions (Tableau 46 et Figure VI.7), la robustesse des résultats est impressionnante avec un écart type de l'ordre de 2% de l'écart maximum de satisfaction de chaque acteur. Au regard des écarts types de l'état des relation qui est bien plus important, ce résultat ne peut s'expliquer sans la recherche d'une forme de compensation dans les échanges entre les acteurs. Nous devrions alors être en mesure de pouvoir détecter certaines corrélations pour les états des relations.

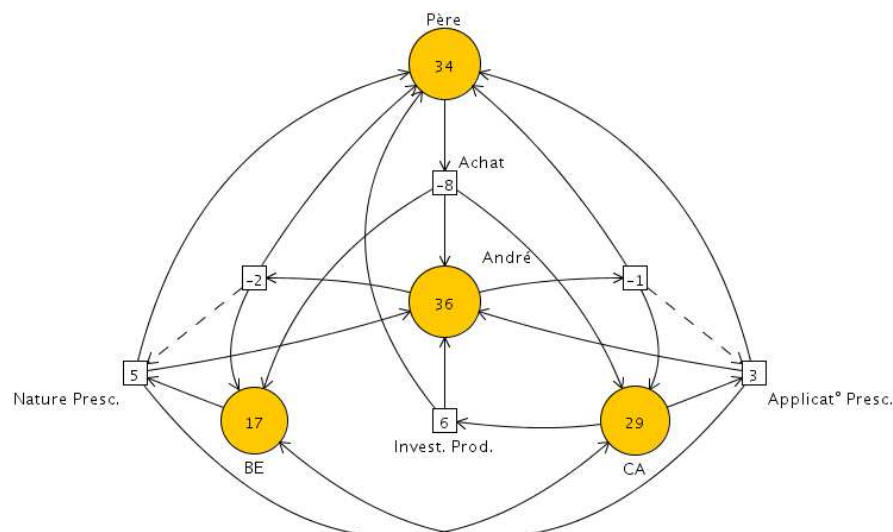


Figure VI.7 - Valeurs moyennes \pm convergence de l'état des relations et de la satisfaction des acteurs.

Afin d'établir l'existence de corrélations, nous avons appliqué le test de corrélation linéaire de Bravais-Pearson (r de Bravais-Pearson) sur les états à convergence des relations (Tableau 45). Nous pouvons alors repérer deux types de corrélations : celles dont la valeur critique de r garantit une corrélation avec un terme d'erreur de 10% ($|r| > 0,1638$, en jaune sur le tableau Tableau 45), et celles assurant une corrélation linéaire avec un terme d'erreur de 1% ($|r| > 0,2541$, en vert sur le tableau Tableau 45). Rappelons que plus les valeurs absolues du r sont proches de 1, plus la corrélation linéaire est forte. Une valeur positive indique une variation des deux variables dans le même sens alors qu'une valeur négative indique une variation en sens inverse.

	Décision achat	Nature prescriptio n	← contrôle	Application prescription	←contrô le	Productio n
Décision achat	1	-0,05	0,04	-0,25	-0,05	-0,15
Nature prescription		1	-0,07	-0,17	-0,18	-0,08
↑__ contrôle			1	0,31	-0,08	0,26
Application prescription				1	-0,28	-0,18
↑__ contrôle					1	-0,16
Production						1

Tableau 57 - Corrélations linéaires de Bravais-Pearson entre les états des relations à convergence, pour un échantillon de 100 simulations. Les corrélations significatives sont marquées en gris foncé (terme d'erreur inférieur à 1%) et en gris clair (terme d'erreur inférieur à 10%).

Il en résulte avec certitude (à 1% d'erreur) que :

- plus le CA applique la prescription, moins le père s'engage dans l'achat de la machine,
- plus André contrôle le CA moins il applique la règle. L'effet est intéressant car il dénote une aversion du CA au contrôle qui n'avait pas été directement modélisée.

– plus André contrôle le BE dans l'établissement de la règle, plus le CA s'investit dans la production. Le CA est ainsi sensible au contrôle de son adversaire.

Par ailleurs des corrélations moindre (10% d'erreurs) et négatives existent entre :

- la nature de la prescription et :
 - l'application de la prescription,
 - le contrôle de l'application. Comme pour le CA, le BE est sensible au contrôle de son adversaire.
- l'investissement dans la production et :
 - l'achat de la machine,
 - l'application de la prescription,
 - le contrôle de l'application de la prescription.

Ces résultats confirment les hypothèses faites à l'issue de l'analyse statique (*ex-situ*). Nous avons de plus constaté deux caractéristiques émergentes. Tout d'abord le CA semble avoir une aversion au contrôle qui correspond parfaitement avec le postulat de la SAO sur la caractéristique des acteurs cherchant à maintenir leur marge de manœuvre sur les zones d'incertitude qu'ils maîtrisent. Le deuxième aspect émergent concerne la régulation croisée d'André sur le BE et le CA. Chacun des deux acteurs dispose d'une relation pouvant affecter les autres de façon négative et s'emploie à ne pas en jouer au dépend de la société si André s'applique à réduire la marge de manœuvre de l'opposant.

Après avoir essayé d'expliquer les corrélations entre les état des relations, il est utile d'expliquer les échanges qui ont eu lieu entre les acteurs, ce que chacun a apporté aux autres et ce qu'il a sacrifié pour cela.

Donner, perdre, recevoir

Le tableau suivant (Tableau 43) illustre le poids des solidarités dans la satisfaction finale des acteurs. A l'exception d'André, tous les acteurs assurent leur satisfaction plus par leur liens de solidarité que par eux même.

Le couple CA-Père assure une coopération fructueuse que l'on avait déjà postulé en regard des solidarités positives qu'ils entretenaient l'un envers l'autre. Le CA a plus de la moitié de sa satisfaction issue de la réussite du Père, qui lui même tire les deux cinquièmes de sa satisfaction de la réussite du CA. La solidarité mutuelle des deux acteurs a été payante.

Le père est également assez solidaire de son fils, dont la réussite lui amène également les deux cinquièmes de sa satisfaction.

André un peu solidaire du CA profite de ce lien à hauteur de un quart de sa satisfaction.

Le BE tire parti de la réussite de André pour presque la totalité de sa satisfaction. Par ailleurs les solidarités négatives mutuelles n'ont pas trop pénalisées le BE et le CA. Ceci s'explique par le niveau modéré de la satisfaction de chacun. De plus si le CA a largement compensé cette perte (-2,2) par sa satisfaction personnelle (12,1), on ne peut en dire autant pour le BE qui est loin d'avoir atteint ses objectifs propres (5,5) pour une perte plus importante (5,5).

	CA	BE	André	Père	Satisfaction
CA	12.1	-2.2	0.0	18.8	28.8

BE	-4.0	5.5	15.6	0.0	17.0
André	8.1	2.0	26.1	0.0	36.1
Père	13.5	1.5	13.0	5.7	33.7

Tableau 58 - Influence des solidarités dans la satisfaction des acteurs. Le gras dénote les influences remarquables dues aux solidarités : en noire pour un poids important dans la satisfaction, en gris foncé pour la coopération fructueuse entre le père et le CA, en gris clair pour le conflit minoré entre le BE et le CA.

Sur l'analyse du pouvoir (Tableau 42), le père est l'acteur qui a le plus exercé son pouvoir (67,1), suivi par André (46,3) et le CA (40).

	CA	BE	André	Père	satisfaction
CA	9.6	-8.1	3.7	23.6	28.8
BE	12.7	11.0	12.0	-18.7	17.0
André	12.0	-0.7	16.8	8.0	36.1
Père	5.7	-2.6	13.8	16.9	33.7
Don	40.0	-0.4	46.3	29.8	
Pouvoir	40.0	22.4	46.3	67.1	

Tableau 59 - Don et pouvoir des acteurs.

Concernant ce que donne les acteurs en terme de capacité d'action, (Figure VI.8) André et le CA donnent à l'ensemble des membres du SAC. Ce que donne le BE à l'ensemble est nul (-0,4). Par ailleurs il pénalise le CA (-8,1) et, par effet de solidarité, le père (-2,6). En retour le père pénalise fortement le BE, en refusant d'acheter la machine (-18,7). Le père n'a ainsi qu'un effet positif de 29,8 sur le SAC.

L'analyse de ce qui a été concédé (Figure VI.8) révèle que seul le CA a fait une concession importante (-8), alors qu'André n'a fait aucune concession et que le père et le BE ont fait des concessions négligeable (-0,1 pour le père et -0,2 pour le BE).

Regardons à présent les acteurs qui ont le mieux tiré leur épingle du jeu par l'exercice de leur pouvoir et en regard de ce que la structure du SAC peut au mieux leur offrir. Le CA et André sont les grands gagnants avec un avantage transactionnel respectif de 53 et de 52, que le CA a obtenu par l'importance des relations qu'il maîtrise, et André par un jeu équilibré de régulation. Il a ainsi réglé au mieux le conflit entre le BE et le CA en imposant une plus forte concession au CA, certes plus puissant, mais qui n'aurait certainement pas réagi aussi bien dans une confrontation directe. Le père et le BE ont un plus faible avantage transactionnel (23 pour le père et 22 pour le BE).

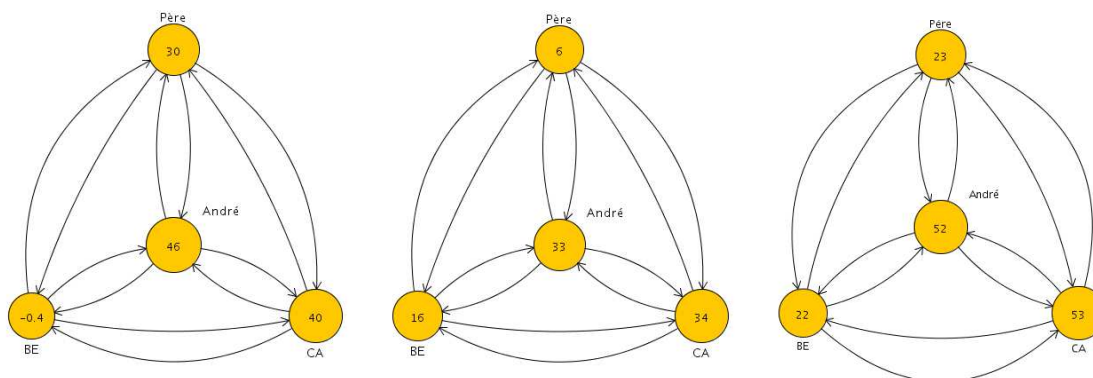


Figure VI.8 - Don, concession et avantage transactionnel des acteurs pour l'état moyen \neq convergence.

5.3.3 Analyse des simulations pour la théorie Y

L'analyse de l'hypothèse de la théorie Y sera plus concise. Les résultats en terme d'état moyen à convergence sont assez similaires à ceux de la théorie X. Le non achat de la machine est plus certain, la prescription à peine moins rationnelle, moins appliquée et moins contrôlée dans son établissement comme dans son application. La distinction avec le modèle de la théorie X est que les écarts types sont plus faibles, ce que l'on peut interpréter comme une forte certitude sur l'issue.

RELATION	Théorie Y		Théorie X	
	Moyenne	Ecart Type	Moyenne	Ecart Type
Décision d'achat	-8.8	1,6	-8.1	2.1
Nature de la prescription	4.3	1.9	4.7	2.3
☛ Contrôle nature	-2.6	1.9	-2.4	2.0
Application de la prescription	2.8	2.8	3.4	2.9
☛ Contrôle application	-1.3	1.5	-1.4	1.7
Investissement dans la production	9.8	0.4	6.1	1.9
ACTEUR	Moyenn e	Ecart Type	Moyenn e	Ecart Type
CA	44.4	1.3	28.8	1.9
BE	10	1.3	17.0	1.8
André	44.8	2	36.1	2.9
Père	49.4	1,2	33.7	2.0

Tableau 60 - Satisfactions moyennes à convergence des acteurs et états moyens à convergence des relations

Le fait que le CA s'investisse totalement et à coup sûr dans la production est sociologiquement peu probable. Le modèle ne postule en effet aucune contrepartie pertinente – salaire, prestige, responsabilisation des ouvriers – pouvant justifier ce résultat. Le travail des ouvriers de production est en général un travail pénible, qui même s'il est compensé par des primes, présente une auto-régulation du groupe vers une norme qui consiste à chercher une bonne rémunération sans toutefois rechercher le maximum possible.

La théorie Y n'est au final pas pertinente. Elle ne présente d'ailleurs aucun changement

quant à l'issue du jeu si ce n'est d'introduire une incohérence sociologique. La vérification de l'hypothèse Y par les simulations étant au finale peu couteuse en temps car s'appuyant sur l'analyse préalable et exhaustive de l'hypothèse X.

6 Conclusions

La modélisation du cas Bolet, la conduite des simulations et l'analyse menée est des plus centrale dans ce mémoire. Tout d'abord le fait de retrouver les résultats du cas sociologique valide notre modélisation du cas. La conséquence directe est une validation du méta-modèle (*chapitre III*) et une validation renforcée (en regard de celle menée au *chapitre V*) du modèle de rationalité employé pour représenter le comportement des acteurs.

L'emploi des indicateurs (*chapitre IV*) nous a permis une interprétation fine de la modélisation (indicateurs *ex situ*) et des résultats de simulation (indicateurs *in situ*). A ce titre les résultats assez probant au terme de l'analyse statique, ne sont pas à voir comme une (pré-)validation du cas, mais plutôt comme celle de l'usage des indicateurs *ex situ* pour guider la modélisation. Dit autrement, ces résultats étaient dans le modèle, et les indicateurs ont permis de les exhiber, ainsi que, et surtout, leur cohérence sociologique avec le cas. La validation effective du cas, par le constat de la convergence des simulations vers un état correspondant aux résultats attendus, est en soit déjà très satisfaisante. Ce qu'il l'est encore plus, c'est d'avoir pu mobiliser les indicateurs *in situ* afin d'interpréter finement les résultats au niveau relationnelle.

Par ailleurs nous avons pu constater un résultat assez intéressant : l'émergence d'une régulation croisée du comportement de deux acteurs (le BE et le CA), médiatisée par un troisième. Ce résultat, assez inattendu en terme de coordination, appuie d'autant plus la conclusion du *chapitre V* quant à une étude plus poussée du modèle de rationalité orienté vers la coopération. Ce résultat est d'autant plus intéressant qu'il n'y a pas de communication directe entre les agents.

Enfin, nous avons illustrer comment un cycle du processus modélisation-simulation-interprétation permet de tester une hypothèse sociologique. Cette démarche est donc une illustration d'un raisonnement mené et contraint par la simulation. Face au nombre de résultats produits, les indicateurs, mais également la structuration des données sous forme de matrice et de réseaux, et l'utilisation d'outils (voir *chapitre VII*) permettant de naviguer et de manipuler ces données structurées à fortement contribué à la réalisation de cette étude.

Chapitre VII - SocLab

1 Introduction

SocLab, pour Social Laboratory, ou Laboratoire Social, est un environnement d'analyse et de simulation multi-agents dédié à l'expérimentation virtuelle d'organisations sociales. Le logiciel reprend les concepts du méta-modèle RAR (Chapitre III) pour décrire la structure d'une organisation sociale, c'est-à-dire un système d'action concret. En tant que *laboratoire virtuel*, l'outil permet de construire et manipuler *in silico* des organisations, tester des hypothèses sur des objets d'études pour lesquels l'expérimentation *in vivo* est impossible.

1.1 Finalités

L'outil vise essentiellement un public d'étudiants, de chercheurs ou d'experts ayant plus ou moins de connaissances dans le domaine de la SAO, mais potentiellement novice en informatique. Parmi les usages envisagés (et/ou testés), prédomine la dimension pédagogique. En effet, la manipulation et la construction d'organisations à l'aide des briques conceptuelles de la SAO peut s'assimiler à un bac à sable facilitant l'apprentissage de cette discipline (principe d'apprentissage enactif), en complément d'un enseignement classique. L'intégration des outils d'interprétation (notamment les indicateurs du chapitre IV) devrait à terme permettre une utilisation par des experts en conseil organisationnel. Enfin l'utilisation de SocLab dans des projets interdisciplinaires de recherche est amené à favoriser l'intégration et la médiatisation de la dimension stratégique des organisations étudiées, comme initié par exemple dans le projet Concert'eau ([Roggéro & Vautier, 2008], [Vautier & Roggéro, 2008]). Toujours dans le domaine de la recherche s'appuyant sur la SAO, une des bases de ce domaine consiste à éclairer et découvrir le contexte d'action dans lequel se développe un SAC. A ce niveau, face à l'amoncellement des données issues des entretiens successifs, la simulation s'avère une démarche pertinente pour tester diverses hypothèses et effectuer le tri nécessaire à la bonne orientation des phases d'entretiens suivantes [Sturma, 2007].

Si les utilisations précitées sont envisageables, ou ont été pratiquées, en l'état de la réalisation de SocLab, certaines voies suscitent également de l'intérêt. C'est notamment le cas de la modélisation collective et de l'échange de points de vue que ce soit dans le cadre de délibérations participatives ou comme outil d'aide à la négociation. C'est également le cas de la sociologie expérimentale, où des individus jouent le rôle des acteurs d'une organisation, afin de d'étudier leurs comportements et leurs interactions. Un outil permettant de jouer en réseau le rôle d'acteurs au sein d'un modèle d'organisations a d'ailleurs été développé à l'occasion d'un TER (Travail Encadré de Recherche). Plutôt orienté vers l'étude des comportements, l'outil permet de générer des jeux où les participants disposent de plus ou moins d'informations pour prendre leurs décisions. Ces perspectives d'utilisation de SocLab sont toutefois un peu en marge de cette thèse, non qu'elles ne suscitent un vif intérêt, au contraire, mais elles nécessitent certaines compétences, la mise en place de protocoles expérimentaux bien pensés, ainsi que le développement d'interfaces ergonomiques, bref tout un travail de recherche très intéressant mais également prenant en terme de temps.

Enfin, si de nombreux usages de SocLab sont planifiés, envisagés, ou ont été essayés, le principal et le plus intensif reste celui présenté tout au long de ce mémoire de thèse. SocLab est en quelque sorte le fruit des besoins rencontrés au fur et à mesure des phases de modélisation, de vérification, de validation de modèle, et des phases de construction, de réfutation et d'abandon de différentes hypothèses ayant conduit à ce travail.

1.2 Principe fonctionnel

Malgré la diversité des domaines d'applications envisagés, des modules constitutifs, des fonctionnalités, des usages par l'utilisateur, SocLab s'articule autour d'un principe d'utilisation assez simple. Il s'agit dans tous les cas de modéliser une organisation, puis de simuler le fonctionnement de cette organisation par le jeu d'un modèle de la rationalité des acteurs et d'analyser les propriétés de la structure organisationnelle.

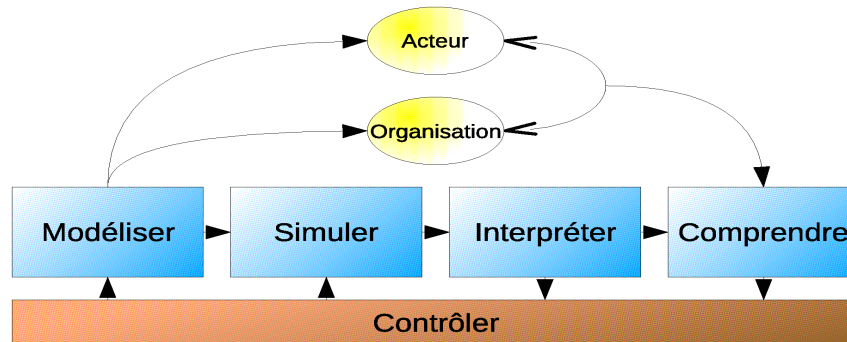


Figure VII.1 - Principe fonctionnel conceptuel de SocLab

On cherchera alors à interpréter les résultats de la modélisations et de la simulation et à comprendre. L'interprétation et la compréhension sont les processus qui permettent de contrôler les processus de modélisation et de simulation (vérification, validation, analyse de sensibilité, exploration des comportements ...) . Au final le cycle (réitéré) doit permettre une meilleure compréhension de la relation existante (ou non) entre le comportements des acteurs et certaines caractéristiques (souhaitées, récurrentes, remarquables) de l'organisation.

2 Architecture logicielle

Dans cette section, nous présentons d'abord les raisons et les conséquences du choix du langage Java pour l'implémentation de SocLab. Nous introduisons ensuite l'architecture modulaire de SocLab. Enfin nous présentons l'architecture du simulateur, ses fonctionnalités et la structure de l'objet *Organisation*.

2.1 Java : deux pas en avant, trois pas en arrière ?

SocLab a été développé en Java pour deux raisons assez évidentes : la puissance de la conception et de la programmation orientée objet, et la portabilité. Si ces deux caractéristiques sont intéressantes, elles ont un coût important dans une utilisation dédiée à la production d'un environnement de simulation efficace. Il y a en générale deux écoles dans l'utilisation du Java : le *tout-en-Java* et la *glue-componentielle*. Or la plupart des modélisateurs seront d'accord avec nous pour dire que s'ils produisent des simulations en java, ils visualiseront leurs données avec Pajek, traiteront leurs résultats avec R ou Excel, et bon nombre d'entre eux passeront directement par Mathematica, MathLab, ou autre. L'avantage d'une telle utilisation de Java, comme interface d'un ensemble d'outils spécialisés et performants (la fameuse *glue-componentielle*), est de ne pas avoir à réinventer la poudre. L'inconvénient majeure est la difficulté de porter l'application sur des systèmes d'exploitation différents, la nécessité de jongler entre différents langages et scripts, les problèmes d'installation et d'utilisation pour les néophytes, ainsi que les problèmes de maintenance. De l'autre côté, le *tout-en-Java*, présente l'avantage d'un tout unifié, plus facile à maintenir, avec des facilités pour développer rapidement des interfaces agréables, ainsi que pour installer les logiciels produits sur différents systèmes d'exploitation. Ce choix, que nous avons

retenu en fonction des utilisateurs ciblés (néophytes, habitués à Windows ou aficionados de MacOS), a un coût important lié à l'utilisation des bibliothèques Java. Le coût est alors toujours celui de l'apprentissage des bibliothèques nécessaires, souvent associé à un coût financier (que nous avons refusé) ou à un coût de production ou de reproduction de bibliothèques de faibles qualités (bien qu'étant les plus performantes pour le langage et éventuellement payantes). Par ailleurs certaines bibliothèques présentent des incompatibilités entre elles.

Au final si l'on fait les comptes il aura fallu :

- Réécrire les tables de hachage doublement indexées proposées par la très bonne bibliothèque *commons* de Apache car en totale incompatibilité avec la bibliothèque de *marshalling*³⁸ utilisée.
- Ecrire un module d'affichage de courbes permettant d'afficher les traces de centaines de simulations, chacune de plusieurs milliers de données, en une ou deux secondes. Les meilleures bibliothèques existantes ayant tendances à créer des dépassement de mémoires ou à afficher les résultats après plusieurs minutes dans le meilleur des cas. L'erreur des développeurs de ces bibliothèques étant de s'obstiner à vouloir afficher des segments entre des dizaines de milliers de points sur un écran dont la largeur est tout au plus de mille points.
- La très bonne bibliothèque de visualisation de graphes *Jung* ne permettant pas un contrôle précis et aisé de certains paramètres, comme le positionnement du texte associé aux nœuds ou la courbure des arcs, les représentations de réseaux un peu complexe ont alors tendance à être illisibles. Les développeurs de Jung, conscients de ces défaut et d'autres se sont lancés dans une nouvelle version trop peu documentée. Nous avons donc du réécrire un outil d'édition et de visualisation de graphes. A ce titre nous espérons que vous ayez apprécié les schémas du cas Bolet (*Chapitre VI*).
- Lorsque les sociologues ont demandé à pouvoir manipuler des données relatives à trois acteurs ou trois ressources, la représentation 3D aurait du être facilement accessible via Java3D ou JOGL, mais pour des raisons de poids des bibliothèques, d'installation système dépendante, et de prise en main, il a été plus simple d'écrire un petit moteur 3D/4D filaire, qui permet de manipuler les données dans l'espace et dans le temps (voir *section 7*).

Au final, Java s'est quand même avéré être un langage très efficace, que ce soit pour développer très rapidement une logique d'intervalle de Allen, un moteur 3D, un simulateur de Q-learning ou un parser ; ou que ce soit pour profiter de bibliothèque de haute qualité comme *Colt*³⁹ la bibliothèque de calcul du Cern, ou *iText* qui nous permet de produire des rapports sur les modèles, les simulations ou les analyses.

Par contre, il aura fallu produire beaucoup plus de code que pour une version *glue-componentielle* de SocLab. L'actuelle version comporte environ 45 000 lignes de codes sans compter les réalisations de la dizaine d'étudiants ayant travaillé dessus que ce soit au niveau de la fuzzification des paramètres des modèles (*enjeux* et *solidarités* des acteurs), des tentatives plus ou moins fructueuses de *marshalling* et d'*unmarshalling*, des outils d'analyse des résultats, d'étude des corrélations linéaires entre les (combinaisons d') entrants et les sortants des simulations, sans oublier l'outil dédié à la sociologie expérimentale qui permet de jouer au *jeu social* en réseau.

38 Terme désignant la transformation d'une structure de donnée propre à un langage objet vers une structure de donnée de type fichier XML (l'opération inverse étant judicieusement dénommée *unmarshalling*).

39 Cette bibliothèque est, entre autres, indispensable pour son générateur de nombres aléatoires, si l'on souhaite éviter les biais de simulations liés à certains générateurs pseudo aléatoires.

On regrettera toutefois l'écart à notre cœur de métier qu'est la simulation sociale. Fait imposé par les conditions de développement d'un logiciel dans le cadre d'une thèse, face à des exigences clientes nécessaires mais coûteuses à mettre en œuvre. Plusieurs outils intéressants en termes de simulation sont ainsi restés au niveau de la conception, de prototypes, ou de modules présents uniquement dans les premières versions du logiciel.

2.2 L'organisation modulaire de SocLab

Afin d'éviter aux lecteurs de crouler sous la multitude des fonctionnalités de l'outil nous en présentons une description modulaire (Figure VII.1), plus intelligible :

- L'outil est articulé autour du *Simulateur*. Il est à l'interface des deux principaux *objets* de SocLab : l'*organisation* et les *résultats* de simulation. Sa principale fonction est de produire des simulations à partir d'une organisation. Le *Simulateur* est par ailleurs en charge d'observer les variables de la simulation afin de produire les résultats que l'utilisateur souhaitera analyser, ou manipuler.
- Une *Organisation* est modélisée à l'aide de l'*Editeur* d'organisation.
- Le module d'*Analyse statique*, sert essentiellement à guider la modélisation et à analyser la structure d'une organisation. Il permet d'accéder aux indicateurs *ex situ* (voir Chapitre IV).

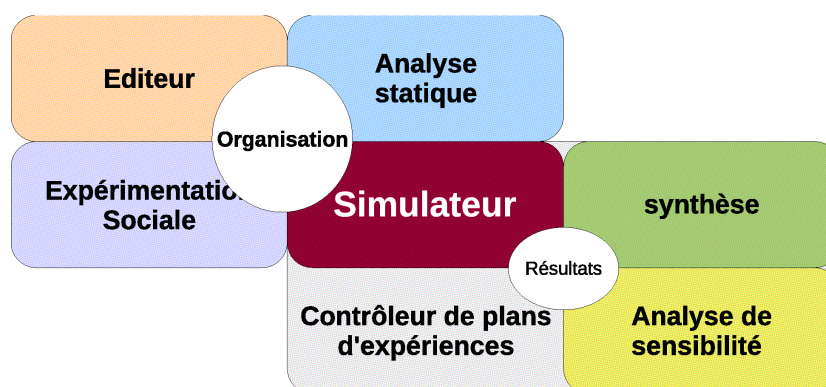


Figure VII.2 - Organisation modulaire de Soclab (vue simplifiée)

- Le module d'*Expérimentation sociale* permet de jouer au jeu social que définit la structure d'une *Organisation*. Bien qu'intéressant nous ne le présenterons pas dans ce mémoire.
- Le module de *synthèse* permet d'effectuer des calculs sur les résultats bruts que produit le simulateur. Il permet ainsi d'accéder aux indicateurs *in situ* (voir Chapitre IV), mais également de procéder à des calculs statistiques sur les résultats (bruts ou combinés) issus d'un échantillon de simulations répliquées.
- L'*analyse de sensibilité*⁴⁰ permet d'étudier la corrélation linéaire d'un sortant (brut ou agrégé) avec un entrant ou un sortant (brut ou agrégé).
- Enfin le *contrôleur de plan d'expériences*, dont le développement est en phase conceptuelle, doit permettre de définir des protocoles expérimentaux afin d'étudier le comportement du modèle (exploration de l'espace des paramètres, l'analyse de sensibilité, ...). À terme nous souhaiterions disposer d'un outil permettant plutôt de décrire le protocole

⁴⁰ Le module n'a pu évoluer avec les nouvelles versions de SocLab. Ce qui explique l'utilisation d'un tableur pour l'analyse des corrélations linéaires du cas Bolet (voir chapitre VI).

expérimental comme un processus, au lieu de le décrire comme un ensemble d'expériences. L'idée est de produire des explorations intelligentes de l'espace des paramètres.

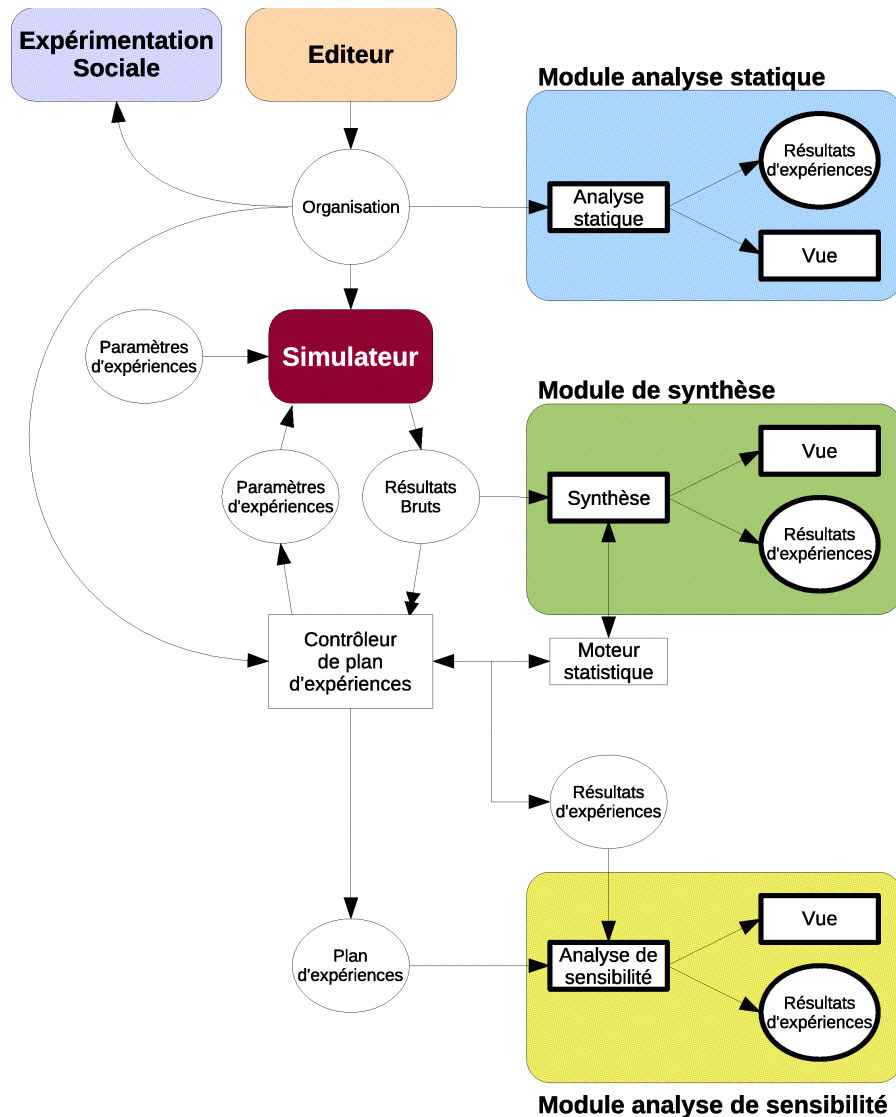


Figure VII.3 - Organisation modulaire de SocLab (vue fonctionnelle détaillée).
Les carrés représentent des processeurs traitant les objets situés dans les conteneurs amonts (les ronds) et produisant des objets dans les conteneurs avals.
(Représentation sous la forme librement adaptée d'un Réseau de Pétri \neq objets [Sibertin-Blanc, 1985].)

Dans le détails (Figure VII.3), l'architecture modulaire met également en œuvre les *paramètres d'expériences* qui sont les paramètres concernant une ou plusieurs répliques de la même expérience, et les *plans d'expériences* qui définissent les paramètres pour un ensemble d'expérience à effectuer. Ainsi pour exécuter une simulation (ou plusieurs répliques) le simulateur prend en entrée une série de paramètres (essentiellement le choix de la mécanique de rationalité pour chaque agent, les paramètres associés à cette mécanique, le nombre de pas maximum et le nombre de répliques).

2.3 Architecture du simulateur

L'architecture du simulateur est tout ce qu'il y a de plus simple dans son fonctionnement

général. La classe *SimuLauncher* permet de lancer une (ou plusieurs simulations) via l'application (successive) de sa méthode *run()*. Celle-ci consiste essentiellement en l'initialisation de l'*Organisation* ciblée et en la répétition de la méthode *step()* d'une *Simulation*.

Chaque *Simulation* peut être associée à plusieurs *SimuViewer*, chacun ayant alors la main à chaque pas (*step()*) pour collecter, calculer et/ou renvoyer des informations à l'utilisateur. Les *SimuViewer* peuvent être accrochés (*handleView*) et décrochés (*unHandle*) de la *Simulation*, en général au niveau de la méthode *run()*. Par ailleurs, chaque *Actor* de l'*Organisation* a également la main, suivant les règles d'ordonnancement choisies dans la méthode *step()*. Chacun verra alors sa méthode *to_act()* déclenchée. C'est également au sein de la méthode *step()* qu'est gérée la mise à jour de l'état des *Relations* suite aux actions générées au préalable.

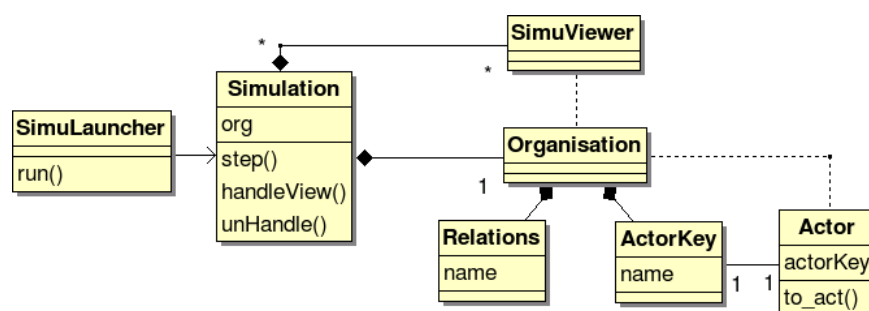


Figure VII.4 - Diagramme de classes du simulateur.

L'objet *Organisation* recouvre de nombreuses informations importantes pour le fonctionnement de chacun des modules. Par soucis de cohérence sémantique la classe *Organisation* sera à terme éclatée en une classe *Organisation*, et une classe *Paramètres*.

En effet la classe *Organisation* est construite autour d'une structure de donnée puissante, dont l'objectif premier était de pouvoir étendre et modifier la structure d'un SAC et les modèles d'agent, sans avoir à tout réécrire ou recompiler à chaque modification. Partant du postulat que toute organisation pourrait être décrite par un ensemble d'entités et un ensemble de relations binaires entre ces entités, nous avons articulé tout notre développement autour d'une structure permettant d'ajouter à la volée autant de caractéristiques que désiré pour n'importe quel type d'élément (pour nous *ActorKey*⁴¹ et *Relation*) ainsi que pour n'importe quel type de relation binaire orientée (*ActorKey-ActorKey*, *ActorKey-Relation*, *Relation-ActorKey*, *Relation-Relation*). La structure s'est avérée si simple et si puissante à utiliser⁴², que cela a été fait au dépend d'une certaine cohérence sémantique de la classe *Organisation*, puisqu'elle sert à mémoriser les paramètres des simulations.

En terme de fonctionnalité, la classe *Organisation* permet toutes les opérations nécessaires à la construction et à la manipulation d'un SAC ainsi que l'accès à l'ensemble des indicateurs *ex situ* et *in situ*.

3 Module d'édition

Le module d'édition permet de construire, modifier, dupliquer, sauvegarder et annoter un modèle de système d'action concret (voir Figure VII.5 et Figure VII.6). L'outil présente une interface ergonomique qui permet dans un premier temps de fournir une description générale de

41 La classe *ActorKey* sert à identifier les acteurs alors que la classe *Actor* est une classe abstraite dont les classes filles décrivent des modèles de rationalité. Chaque acteur est alors implanté comme un objet *ActorKey* lui-même associé à un objet *Actor* pour les besoins des simulations.

42 La structure est basée sur des tables de hachage doublement indexées.

l'organisation considérée, ainsi que de définir les acteurs et relations la constituant. L'utilisateur peut ensuite définir les contrôles, les enjeux et les solidarités (éventuellement imprécis), ainsi que les fonctions d'effet pour chaque paire acteur-relation. L'utilisateur peut justifier chacun de ses choix et générer un rapport de modélisation après avoir sauvegardé son travail sous la forme d'un fichier XML de l'*Organisation* sérialisée⁴³.

Comme évoqué ci-dessus en *section 1*, ainsi que dans les *Chapitres IV* et *VI*, il est essentiel que l'utilisateur de SocLab puisse documenter le modèle d'une organisation qu'il est en train de produire. D'une part, pour ne pas être prisonnier des contraintes de la formalisation, il lui faut expliciter l'analyse sociologique sous-jacente à son modèle : pourquoi tel acteur, à quel comportement correspond la valeur -1 de l'état de telle relation, etc.. D'autre part, cette explicitation des éléments du modèle est indispensable pour être en mesure d'interpréter les résultats que fournit SocLab, qu'il s'agisse des états remarquables, des indicateurs ou des résultats de simulation.

L'utilisateur peut ainsi effectuer sa modélisation en justifiant chacun de ses choix dans les termes du discours habituel du sociologue. Il peut définir et associer une ou plusieurs sémantiques aux différents intervalles constituant le domaine de valeur de l'état de chaque relation. Ces choix établis, faciliteront la définition des fonctions d'effet et l'interprétation des résultats de simulations (voir *Chapitre VI*). Par ailleurs tout ce travail descriptif est une réelle plus value dans un travail collaboratif, puisqu'il en reste une trace sous forme de fichier et également sous la forme d'un rapport qu'il est possible de générer automatiquement.

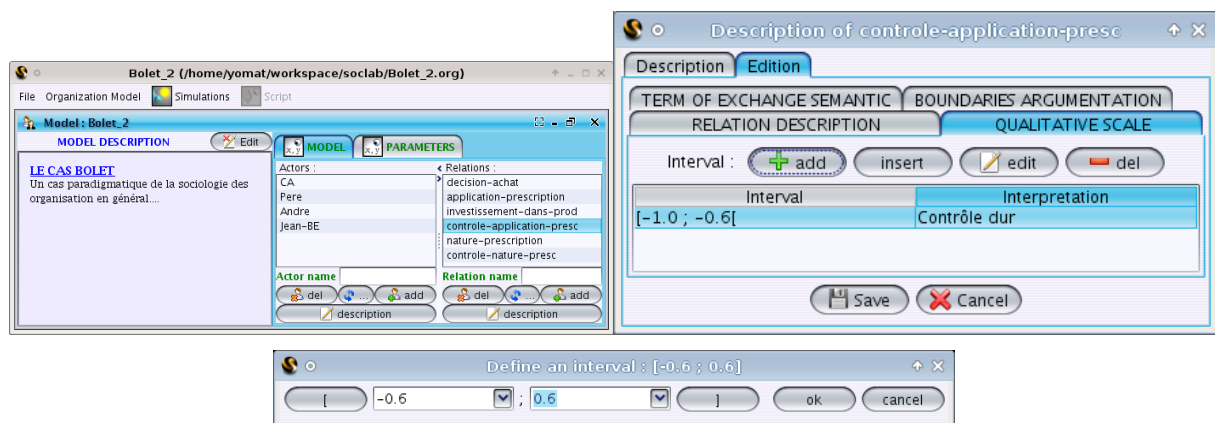


Figure VII.5 - Modélisation d'une organisation. A gauche : définition des acteurs et des relations ≠ droite et en bas : définition d'une échelle d'interprétation.

43 Une DTD a bien été établie, mais l'évolution du logiciel et la complexité des outils de *marshalling* nous ont fait abandonner cette idée.

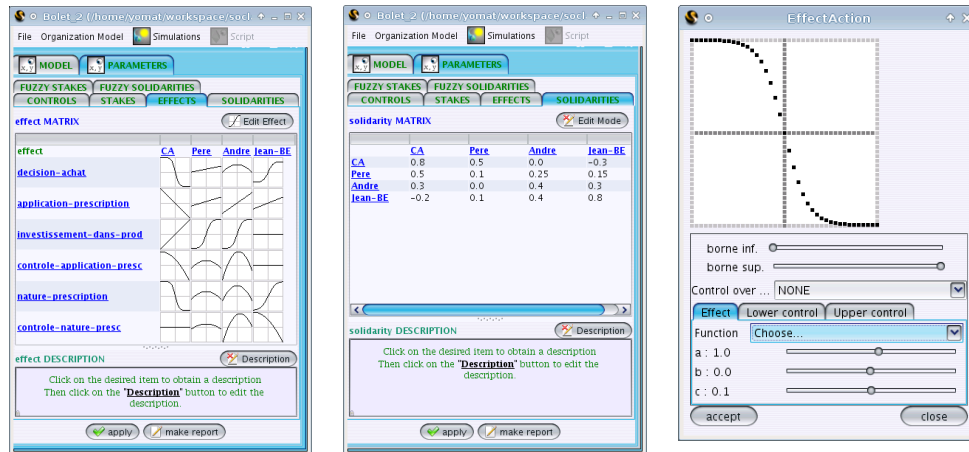


Figure VII.6 - Modélisation d'une organisation. De gauche à droite : ensemble des fonctions d'effet, définition des solidarités entre acteurs, et l'édition d'une fonction d'effet.

4 Module d'analyse statique

Après avoir modéliser une organisation, il est possible de calculer les indicateurs *ex situ* à l'aide du module d'analyse statique. Les indicateurs peuvent être visualisés sous forme de tableaux ou de réseaux. Les réseaux peuvent directement être intégrés au rapport. Les tableaux peuvent être copiés depuis SocLab vers n'importe quel document textuel ou feuille de calcul. Toutes les données (nœuds des réseaux et colonnes des tableaux) sont par ailleurs manipulables afin de faciliter la lecture des résultats⁴⁴.

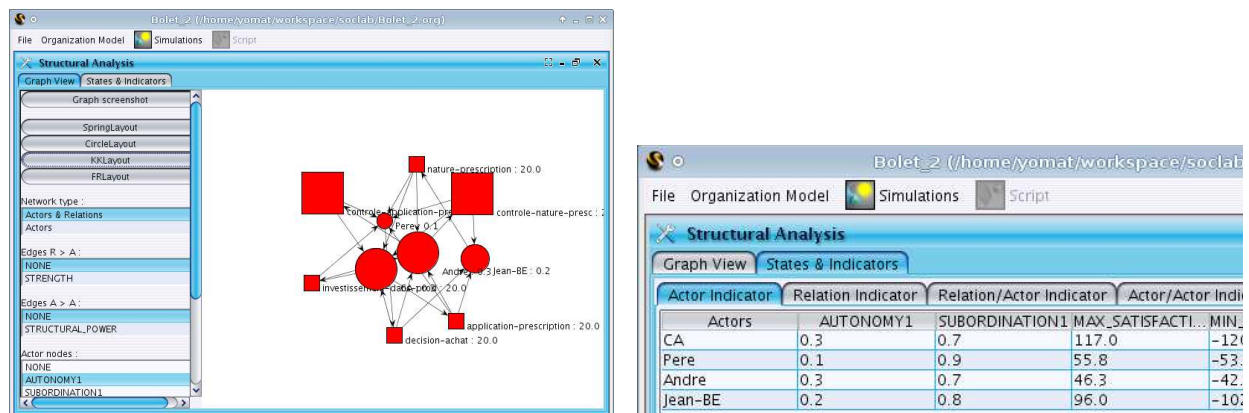


Figure VII.7 - Indicateurs *ex situ* dans le module statique. À gauche : représentation sous forme de graphes, et à droite : représentation sous forme de tableaux.

5 Module de simulation

Le module de simulation, dont l'architecture a été présentée en section 2.3, dispose d'une interface permettant de paramétrer les simulations par l'état initial des relations et la valeur des paramètres des modèles de rationalité sélectionnés (voir Figure VII.8). Il est possible d'utiliser le mode *fuzzy*, pour les enjeux et les solidarités des acteurs, afin de tester la robustesse du modèle face à l'imprécision des données (théoriquement récoltées auprès d'acteurs fournissant forcément des informations peu exactes). L'interface permet de lancer la réplication de simulations. Elle

⁴⁴ Le nouvel outil de visualisation de réseaux ayant servi à produire les schémas du cas Bolet (Chapitre VI) n'est pas encore intégré à SocLab. On peut remarquer le manque de lisibilité de l'outil basé sur la bibliothèque Jung (à gauche sur la Figure VII.7) évoqué en Section 2.1.

donne par ailleurs accès aux différents outils du module de synthèse permettant d'en analyser les résultats. Enfin l'outil permet de générer un rapport de synthèse incluant les valeurs des paramètres et les résultats de synthèse (ratio et temps moyen de convergence, moyenne et écart type des satisfactions des acteurs et des états des relations).

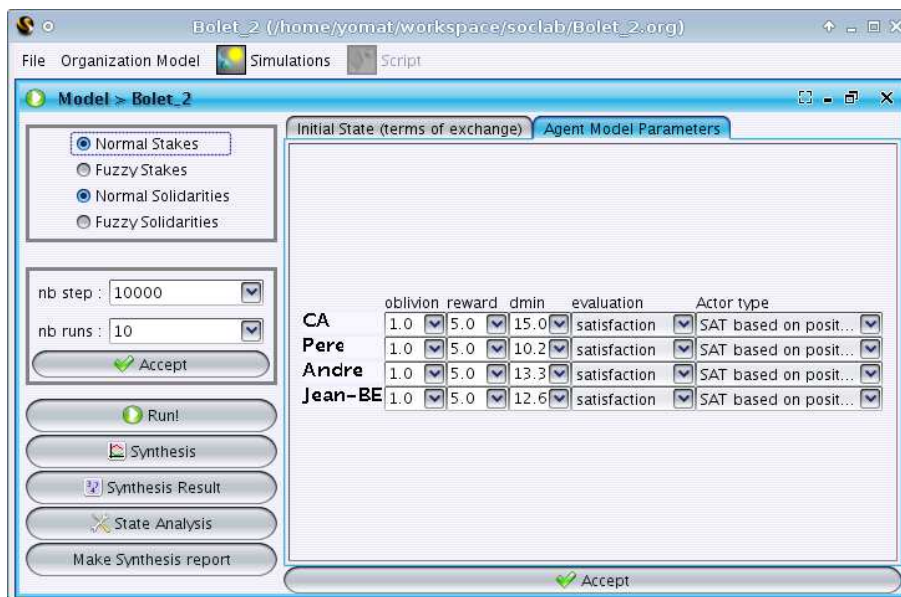


Figure VII.8 - Interface de l'outil de simulation.

6 Module de synthèse

Le module de synthèse s'articule autour de deux outils permettant de mieux comprendre la dynamique des simulations et les états de convergence en résultant.

Le premier outil (Figure VII.4 à gauche) permet de visualiser les résultats des simulations concernant les acteurs et les relations (typiquement la satisfaction des acteurs et l'état des relations) et indique si les simulations ont effectivement convergé dans le nombre de pas spécifié. L'affichage montre les graphiques de l'évolution des variables observées que ce soit pour l'ensemble des acteurs ou relations au cours d'une simulation ou bien pour l'ensemble des simulations concernant un seul acteur ou relation (ce qui permet de bien observer la dispersion des résultats des différentes simulations). Les graphiques peuvent ensuite être comparés deux à deux. Dans une perspective de vérification/validation, l'outil permet ainsi de rapidement constater l'incohérence de certains comportements ou résultats de convergence. Il permet également de rapidement situer les zones d'attractions des convergence.

Le deuxième outil (Figure VII.4 à droite) permet de comparer l'état moyen résultant des simulations aux états remarquables de l'organisation (ou aux états définis par l'utilisateur), ainsi que les principaux indicateurs *in situ* qu'impliquent l'un et l'autre (pouvoir et satisfaction, individuel et cumulé). Si l'interprétation des valeurs de l'état des relations a été correctement documenté, on obtient directement l'interprétation de l'état obtenu⁴⁵. Pour l'analyse du cas Bolet nous nous sommes servi d'un outil équivalent, si ce n'est qu'il propose de représenter les différents états sous forme de réseaux et qu'il donne accès à l'ensemble des indicateurs *in situ* proposés dans cette thèse.

Les résultats de ces outils peuvent être exportés dans un rapport de simulation afin de

⁴⁵ A ce sujet, la Figure VII.4 à droite illustre un cas caractéristique de modélisation sans attention pour l'interprétation.

pouvoir être analysés sereinement et collectivement autour d'une version papier.

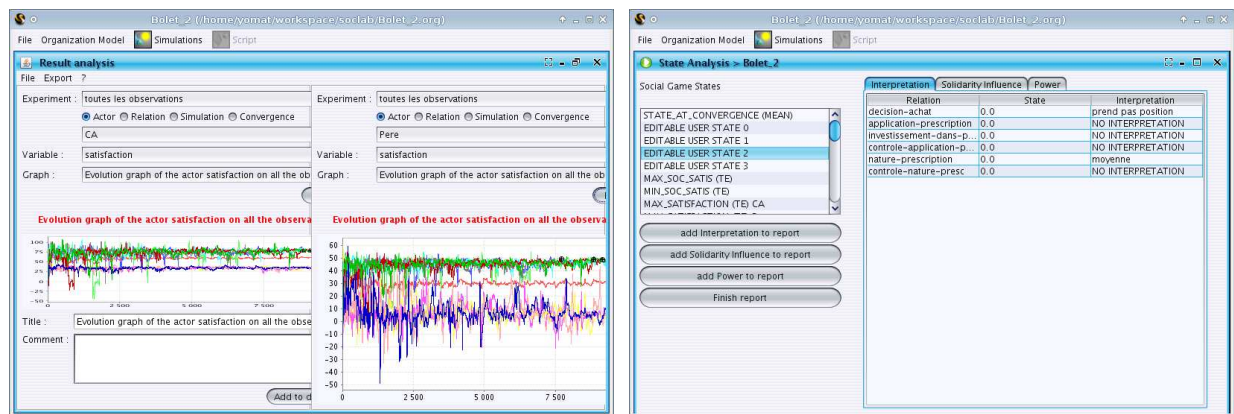


Figure VII.9 - Module de synthèse. À gauche : comparateur de traces de simulations (graphiques), à droite comparateur d'état et convergence avec différents états remarquables (tableaux).

7 Outils de visualisation

S'il est facilement envisageable de représenter les acteurs et relations d'une organisation comme un graphe, il semble plus difficile de concevoir une représentation de l'ensemble des données du modèle et des indicateurs sur une même vue. Il est par contre plus intéressant de considérer l'organisation comme un objet complexe présentant plusieurs points de vue que les utilisateurs-modélisateurs peuvent visiter suivant leurs objectifs. Ce sont ces considérations qui ont guidé la réalisation de la plupart des interfaces de visualisation de SocLab. Les données peuvent ainsi être visualisées sous une ou plusieurs formes de représentations : graphiques 2D ou 3D/4D, tableaux ou réseaux ; chacune de ces formes de représentation permettant plusieurs points de vue sur l'organisation et les résultats de simulation.

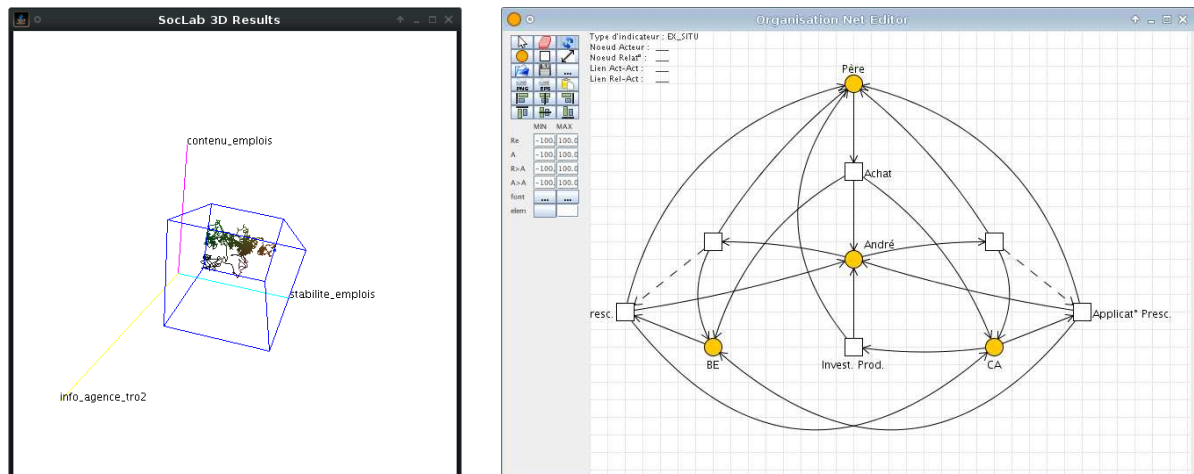


Figure VII.10 - Outils de visualisation. À gauche, SocLab 3D Results permet l'étude de l'évolution d'une variable au cours d'une ou plusieurs simulation par la manipulation dans l'espace et le temps des résultats. À droite l'outil OrgNetEditor permet d'accéder à l'ensemble des indicateurs in situ et ex situ qui sont alors présentés sous la forme d'un graphe (simple ou bipartite) préalablement ordonné.

Le second leitmotiv dans la réalisation de ces outils est d'offrir la possibilité de manipuler, d'organiser et de comparer les données afin de pleinement s'en saisir. Ces outils de visualisation se présentent ainsi avant tout comme des outils d'interaction.

8 Conclusion

La réalisation de cette thèse a donné lieu au développement de nombreux outils facilitant la modélisation, la simulation et l'analyse d'organisations sociales au sein de SocLab. Un effort important a été investi pour faciliter l'interprétation, l'observation et la manipulation du modèle et des résultats de l'analyse structurelle et des simulations sous plusieurs angles et à travers différents prismes. En l'état, ces outils couvrent l'essentiel de nos besoins dans une perspective de formalisation de la SAO et d'expérimentation *in silico* de systèmes d'action concret.

Si l'on met de côté les détails concernant la généricité de certains outils, SocLab souffre essentiellement de deux défauts. Le premier défaut est l'interopérabilité avec d'autres outils et langages, qui est pour l'instant assurée par l'export de fichiers depuis SocLab. Il concerne plutôt les prochains développeurs de SocLab, et est lié au choix d'un développement *tout-en-Java*. Le second défaut est l'impossibilité de construire des modèles de rationalité depuis SocLab sans passer par Java. Cela concerne essentiellement les utilisateurs non-informaticiens qui souhaiteraient créer ces modèles. Afin de répondre à ces deux défauts un prototype fonctionnel d'éditeur de script a été développé (Figure VII.2). Basé sur le langage Lua qui permet l'interface Java-C/C++, l'éditeur permet de manipuler les différentes bibliothèques de SocLab. Il reste toutefois à penser à une utilisation bien intégrée et surtout contrainte de Lua, qui en l'état est assez déroutant pour un non expert.

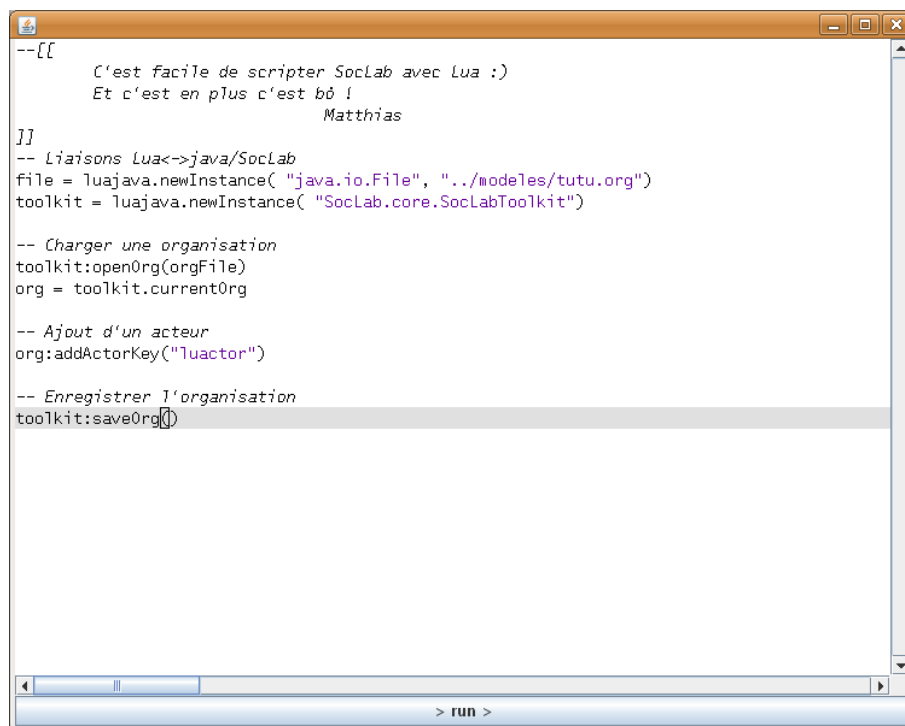


Figure VII.11 - Prototype de l'éditeur de script Lua pour Soclab.

Il reste également un défi intéressant : faire de SocLab un véritable outil de modélisation participatif. Nous avons affirmé jusqu'ici que la modélisation permettait de partager des connaissances et de les co-construire collectivement. C'est un peu l'idée du tableau noir que tout le monde peut voir et où chacun peut écrire. Or, jusqu'à présent et dans l'état de nos connaissances, nous n'avons jamais vu un outil de modélisation dédié aux sciences sociales qui

fournirait une craie à chaque participant pour interagir dans la même pièce sur le tableau noir. Une recherche approfondie, menée par des ergonomes et des spécialistes en interfaces homme-machine, devrait pouvoir renseigner sur les modes de construction collectives, les situations d'utilisation et les technologies adéquates.

Il existe pourtant des technologies efficaces pour interagir à plusieurs sur la même interface. Les tables multi-touch par exemple s'avèrent être des outils efficaces et peu chers à réaliser pour qu'un petit groupe puisse interagir simultanément sur les mêmes objets. Nous avons réalisé un prototype⁴⁶ à partir de la plateforme multi-modale OpenTouch pour éprouver le concept. Moyennant un bout de plexiglas, une boîte en carton et une vieille webcam, il est possible de s'essayer à plusieurs sur différentes applications interactives. Un deuxième prototype basé sur les travaux de Jonny Lee [Lee & Hudson, 2008] et le principe de *réflexion interne totale frustrée* [Han, 2005] est en cours de réalisation.

46 Nous ne mettrons pas de photos du prototype afin de maintenir la qualité graphique de ce mémoire.

Chapitre VIII - Conclusion

1 Apports de la thèse

Dans ce mémoire, nous avons développé un méta-modèle des organisations sociales (*chapitre III*) dont l'originalité et l'intérêt est d'être sociologiquement fondée sur une théorie sociologique : la sociologie de l'action organisée, que nous présentons au *chapitre II*. Nous avons ainsi situé notre démarche (*chapitre II*) par rapport aux autres travaux en simulation sociale mobilisant des concepts sociologiques.

Le méta-modèle, nommé RAR, permet de décrire une structure d'organisation sociale, un système d'action concret, à partir des concepts de Ressource, d'Acteur et de Relation. L'organisation est alors vue comme un système de relations de pouvoir. Elle peut être interprétée comme un jeu qui consiste, pour chaque acteur, à échanger des comportements dans la limite de son autonomie et des contraintes inhérentes au jeu, et, si possible, à jouer sur la marge de manœuvre des autres acteurs pour servir au mieux ses enjeux.

Comme annoncé en introduction du mémoire, le travail que nous avons entrepris ici ne couvre pas les aspects dynamiques de la structure d'un SAC : le système n'est pas ouvert, les acteurs ne peuvent procéder à une réaffectation de leurs enjeux (pro-activité), ils ne peuvent s'emparer de nouvelles ressources, développer de nouvelles relations, etc. Un travail de thèse est actuellement en cours sur cette problématique, et devrait s'inspirer des travaux sur les théories de l'échange que nous introduisons brièvement en conclusion du *chapitre IV*.

Outre l'originalité de l'approche, le méta-modèle que nous proposons est le seul à notre connaissance qui fasse de la *relation de pouvoir* une entité de premier ordre. Nous explorons d'ailleurs diverses facettes ayant trait au pouvoir au *chapitre IV*.

Ces indicateurs ont pour rôle premier de faciliter l'interprétation d'un modèle de SAC, et les résultats de simulations qui en découlent. Nous avons proposé deux catégories d'indicateurs suivant qu'ils dépendent (*in situ*) ou non (*ex situ*) d'un état donné du système. Les indicateurs *in situ* décrivent ce qui dans l'organisation est de l'ordre du potentiel. Ils nous permettent de vérifier la cohérence générale des modèles développés (notamment au *chapitre VI*). Les indicateurs *ex situ*, sont de l'ordre de ce qui est effectif au sein de l'organisation, ils dépendent d'un état. Ils peuvent servir à différents niveaux de validation, mais leur usage privilégié est de caractériser les états régulés d'une organisation, et d'éclairer les tractations ayant conduit à ce résultat. La majorité de ces indicateurs s'expriment essentiellement dans l'*espace des capacités d'action*, puisque l'on s'intéresse au Pouvoir en tant que *relation asymétrique d'échange de comportements*.

La grande originalité de ce chapitre est, à travers une réflexion sur les insuffisances des définitions usuelles du Pouvoir, de proposer quatre grandes catégories d'indicateurs *in situ* permettant de se saisir des différentes facettes qu'il revêt, dans ses dimensions relationnelle, transactionnelle et systémique. Nous proposons alors une conception originale, et cohérente avec la SAO, du *pouvoir-échange de comportement* comme étant fondé sur un triptyque *donner/recevoir/concéder*. Nous proposons alors trois indicateurs : le *pouvoir*, la *satisfaction* et la *concession*. Enfin, sur la base d'une combinaison de ces indicateurs, nous en proposons un quatrième qui exprime la qualité de l'exercice stratégique du Pouvoir d'un acteur dans le jeu social : l'*avantage transactionnel*. On retiendra enfin une mesure *ex situ* du *pouvoir potentiel*.

Nous espérons que cette contribution aura permis de rendre compte de l'aspect transactionnel et relationnel du pouvoir chez Crozier. Toutefois, étant alerte que le pouvoir est

toujours une notion complexe, nous espérons que les travaux menés à éclaircir cette notion permettront d'établir dans un futur proche une solide théorie mathématique du pouvoir. Pour ce, il serait nécessaire de s'emparer d'autres travaux issus de la théorie des jeux, de l'étude computationnelle ou sociologique de l'échange social, et surtout de l'analyse des réseaux sociaux.

Les travaux développés au *chapitre V* concernent le développement d'un modèle de rationalité cohérent avec les postulats de la SAO sur l'*acteur* stratégique. Nous avons alors mis en avant la nécessité de disposer d'un acteur stratégique et coopératif au sens où celui-ci doit être à la fois capable de s'affranchir des problèmes inhérents à un dilemme du prisonnier et ainsi arriver à soutenir la coopération, mais également savoir *jouer stratégique*.

Le modèle proposé est construit sur un mécanisme d'apprentissage de règles motivé par l'augmentation de sa satisfaction, et par un mécanisme de seuil mobile, l'*ambition*, qui fixe ses attentes et régit la balance entre exploration et exploitation des règles apprises.

Ce chapitre est également un prétexte pour ressituer l'importance de la validation des modèles de rationalité pour l'aboutissement de notre démarche générale. Nous avons ainsi établi le lien entre validation de modèles de rationalité et recherche des causes de l'émergence d'un phénomène social ou d'une propriété organisationnelle.

Nous avons ensuite proposé sur un SAC minimaliste nous servant de banc d'essai pour tester le(s) modèle(s) produit(s). Celui-ci nous permet de mettre deux acteurs dans diverses situations d'interaction. Outre le fait de pouvoir décrire une situation de dilemme du prisonnier tel qu'il est classiquement énoncé, nous pouvons en décrire une forme plus cohérente avec le monde social, c'est à dire fondée sur une asymétrie de gain. Ce type de structure d'interaction, *un dilemme du prisonnier social*, est une des originalités produites dans ce mémoire.

Nous avons illustré l'étude d'un modèle de rationalité par une exploration exhaustive de l'espace des paramètres. Face aux problèmes de l'analyse d'une masse importante de résultats, nous avons produit une manière originale pour visualiser cinq dimensions sur une feuille plane. Ce modèle ne fut pas validé et nous n'avons pas pu reproduire la même étude pour le modèle retenu (rationalité stratégique orientée vers la coopération). Ce modèle de rationalité, vraiment minimaliste en termes de capacité cognitive, demande à être mieux étudié notamment en regard des résultats surprenants qu'il a permis de générer lors de l'étude du cas Bolet (*chapitre VI*).

La modélisation du cas Bolet, la conduite des simulations et l'analyse menée sur ce cas est des plus centrales dans ce mémoire, car elles permettent de valider le modèle de l'organisation, le modèle de l'agent, et le méta-modèle. Le cas confirme également le nécessaire emploi des indicateurs présentés au *chapitre IV* afin de guider la modélisation et de procéder à une analyse compréhensive des résultats obtenus. Les indicateurs de Pouvoir ont pleinement joué leur rôle en rendant intelligible le lien existant entre les résultats globaux et le niveau relationnel / transactionnel.

Par ailleurs, nous avons eu la bonne surprise de constater que notre modèle de rationalité a été en mesure de produire l'émergence d'une régulation croisée du comportement de deux acteurs, médiatisée par un troisième.

Cette étude de cas, plutôt réussie, a également permis d'illustrer en quoi le processus de modélisation-simulation-interprétation permet de tester une hypothèse sociologique, et permet de mener un *raisonnement contraint par la modélisation et la simulation*.

Face au nombre de résultats produits, la structuration des données sous forme de matrice et de réseaux, et l'utilisation d'outils permettant de naviguer et de manipuler ces données structurées ont fortement contribué à la réalisation de cette étude.

La réalisation de cette thèse a permis de mettre en place de nombreux outils facilitant la modélisation, la simulation et l'analyse d'organisations sociales, que nous avons intégrés à SocLab, un environnement d'analyse et de simulation multi-agents dédié à l'expérimentation virtuelle d'organisations sociales. Un effort important a été investi dans des facilitations pour l'interprétation, pour l'observation et la manipulation du modèle et des résultats de simulations sous plusieurs angles et à travers différents prismes. En l'état, ces outils couvrent l'essentiel de nos besoins dans une perspective de formalisation de la SAO et d'expérimentation *in silico* de systèmes d'action concret. Il reste toutefois à faire de SocLab un véritable outil de modélisation participatif.

2 Perspectives

L'utilisation de ces travaux pour l'enseignement et l'expertise sociologique sont en cours de réalisation grâce aux sociologues du projet. Face à l'intérêt suscité par la dimension du pouvoir lors de conférences interdisciplinaires, nous souhaiterions étendre l'utilisation des outils proposés à un cadre contrôlé d'*expérimentation sociologique*, dont l'objectif, à titre personnel, serait essentiellement de développer des compétences dans la gestion de jeu de rôle, et dont l'intérêt pour les SMA et la sociologie, serait de disposer de modèles de rationalité fondés sur des données empiriques : des sortes d'idéaux types formels. Dans un temps suivant, il serait alors intéressant de mobiliser nos travaux dans un cadre de modélisation d'accompagnement (approche COMOD [Bousquet & Trébuis, 2005]), c'est à dire ayant pour objectif l'aide à la négociation ou la délibération collective. Une réflexion est toutefois nécessaire sur la façon de recueillir et de traiter les données issus du terrain. C'est ce qu'on commencé à faire [Roggéro & Vautier, 2008] sur le recueil des données, et [Sandri & Sibertin-Blanc, 2007] sur des extensions du modèle aux principes de la logique floue, réputés pour se satisfaire de données peu précises.

Plusieurs réflexions développées dans cette thèse, nous oriente également vers l'étude du niveau organisationnel dans les SMA. La réflexion sur la coopération menée au *chapitre V* et le fait de proposer un méta-modèle organisationnel faisant de la relation de pouvoir une entité de premier ordre, nous conduit fortement vers l'utilisation de notre formalisation en tant que modèle de coordination pour des niveaux d'observation assez macroscopique. Puisque nous ne nous intéressons pas à l'activité précise qui se déroule au sein des relations, il serait alors intéressant d'envisager de coupler notre approche avec des travaux qui s'intéresse justement à délimiter la l'activité possible pouvant avoir lieu entre plusieurs agents. A ce titre, les travaux de Hanachi sur la coordination [Hanachi, 2004] et couvrant les aspects déontiques de l'organisation [Hanchi et al., 2006] semblent être une voie intéressante pour articuler une macro-coordination organisationnelle par les relations de pouvoir et une micro-coordination des transactions qui s'y déroulent. Loin de traiter de tous les aspects organisationnels, il serait globalement intéressant de s'emparer de concepts pertinents issus d'autres modèles organisationnels : protocole d'interaction, groupe, rôle, environnement... L'ouverture à l'analyse des réseaux sociaux, tout juste amorcée (voir la conclusion du *chapitre 4*), et aux théories de l'échange, vers lesquels s'élance avec entrain Paul Chapron dans sa thèse, apparaît également incontournable à la poursuite et à la confrontation de nos travaux.

Afin de mener à bien cette ouverture il conviendrait dans un premier temps de s'emparer la dimension dynamique des SAC. En effet, il s'avère que les SAC sont des systèmes qui *évoluent* de par l'action des acteurs. L'aspect dynamique de la structure d'un SAC pose de nombreux problèmes, qui sont par ailleurs traités dans les communautés systémique *complexe* ou SMA. Ainsi les SAC sont avant tout des systèmes ouverts : de nouveaux acteurs peuvent intégrer ou quitter le système, les règles et normes de fonctionnement peuvent évoluer ; et le système

maintient pourtant une certaine forme, caractéristique de son identité. Ensuite, les acteurs qu'ils soient individuels ou collectifs, sont considérés comme des entités stratégique et proactives : leurs enjeux peuvent évoluer, non pas que cela leur a été décrété, mais parce que les acteurs ont des raisons de les modifier : une opportunité intéressante se présente (une nouvelle relation par exemple), une autre disparaît, ou encore le constat de l'échec d'une stratégie répétée. Les ressources, et les relations qu'elles fondent, peuvent donc évoluer. Leurs interdépendances et leur agencement déterminent les potentialités du système. Ainsi, Friedberg proposait dans [Friedberg, 1993] de produire une « *séquence génétique* » des SAC fondée sur les ressources du pouvoir, un questionnement légitime sur l'influence de la structure sur les émergences potentielle de l'organisation.

En introduction de ce mémoire, nous avons mis en évidence l'utilisation de tel travaux pour des organisations artificielles ou hybrides, où les agents virtuels auraient à adopter un comportement anthropomorphique. On voit assez bien se dessiner l'intérêt de mobiliser des travaux traitant du pouvoir pour guider le comportement des personnage non joueur dans les jeux vidéos, ou pour déléguer quelques tâches à un ou plusieurs agents assistant. Un ami averti des dimensions stratégique et coopérative des agents développés m'a même proposé de piller les casino virtuel à l'aide de meute d'agents joueurs. Ce que je ne manquerai pas de faire, mais avant de mener une profonde réflexion sur l'application de ses travaux à des agents assistants, les difficultés ergonomiques rencontrées et l'impossibilité d'une modélisation collective nous oriente également vers l'usage d'agents assistants et le développement d'interfaces ergonomiques afin d'agréablement *collecticieliser* nos travaux. Un prototype d'interface d'interaction collective est en cours de réalisation. L'idée de ce prototype est de disposer d'une interface permettant l'interaction simultanée à plusieurs sur un même modèle. Mais il est aussi important, surtout pour les sociologues, de disposer d'un outils permettant la modélisation collective asynchrone. On voit alors se profiler l'image de groupes de sociologue allant s'emparer d'un terrain particulièrement complexe, au hasard celui des finances que Crozier reconnaît ne pas avoir pu appréhender, et collectivisant alors en temps réel (à l'échelle d'une étude sociologique) leurs analyses sous la forme de modèles.

3 Des plaisirs et des difficultés de la transdisciplinarité

Cette thèse s'est déroulée dans un contexte transdisciplinaire plus qu'intéressant. L'expérience intellectuellement stimulante est toutefois soumise à des contraintes, notamment à un fossé culturel entre les disciplines. Il n'est pas inintéressant alors de savoir que ce n'est pas seulement les livres de sociologie qui permettent de combler ce fossé, il est d'ailleurs loin de l'être, mais surtout les interactions et les échanges de points de vue avec les praticiens de la discipline. A ce titre je tiens encore une fois à remercier les membres du CIRESS-LEREPS, pour toutes les discussions, échanges, tentatives de collaborations entreprises, et autres amusements [Audras, Casula, Mailliard, 2004].

Un aspect non prévu, et particulièrement coûteux en temps, a concerné les aspects ergonomiques du développement de SocLab, afin que les sociologues puissent l'utiliser. Ce qui est de l'ordre du prototype expérimental, qui fonctionne quand il fait frais⁴⁷, sous réserve d'avoir employé le bon script, et déclenché une série d'événements incantatoires, ne pouvait vraisemblablement pas être envisagé dans cette collaboration. Le temps de réalisation d'interfaces ergonomiquement acceptable pour les sociologues fut hélas un frein à l'avancée des travaux de recherche. A titre d'exemple l'exploration complète de l'espace des paramètres pour l'étude d'un modèle de rationalité aura pris un mois en utilisant des scripts, et elle n'est toujours

47 Le processeur peut surchauffer.

pas accessible aujourd'hui dans SocLab...

Une autre difficulté, durant cette thèse, a été l'absence d'un terrain concret. Il est en effet difficile pour un informaticien inculte en la matière d'essayer de « *mettre Crozier dans le modèle* », comme dirait un certain chercheur, sans avoir une bonne représentation des objets d'étude de cette sociologie. Et la froideur du papier des cas d'étude de la SAO, à la différence d'un projet aux retombées directes, n'est pas enclin à l'exultation. Le développement d'un tel projet en contexte universitaire est particulièrement contraint aux temps que peuvent accorder les différents participants et aurait nécessité, pour disposer d'un terrain, d'un alter ego en sociologie. Mais, l'étude de l'organisation de la recherche universitaire fera l'objet d'une autre étude.

Bibliographie

- [Adam & Reynaud, 1978] Adam, G., Reynaud, J.D., *Conflits du travail et changement social*, P.U.F., Paris, 1978.
- [Amblard & Sibertin-Blanc, 2006] Amblard, F., Sibertin-Blanc, C., *Quel formalisme pour la modélisation informatique en sociologie ; entre formalisation statique du discours et formalisation des processus sociaux*. Dans : *Conférence de l'Association Française de Sociologie, Bordeaux, 05/09/2006-08/09/2006*.
- [Amblard, 2006] Amblard, F., *Review of « Artificial Life Special Issue on Visualization for Complex Adaptive Systems »*, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2006.
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/10/1/reviews/amblard.html>.
- [Amblard, Rouchier, Bomel, 2006] Amblard, F., Rouchier, J., Bommel, P., *Evaluation et validation de modèles multi-agents*. In F. Amblard & D. Phan, *Modélisation et simulation multi-agents*, p.103-140. Hermes, France, 2006.
- [Amiguet et al., 2002] Amiguet M., Müller J.P., Baez J., Nagy A., *La plate-forme MOCA : conception de SMA organisationnels à structure dynamique*. In : *Systèmes multi-agents et systèmes complexes : ingénierie, résolution de problèmes et simulation. Actes des JFIADSMA'02, 28 octobre - 30 octobre 2002, Lille, France*. Paris : Hermès, p. 151-154.
- [Amiguet, 2003] Amiguet, M., *MOCA: Un modèle componentiel dynamique pour les systèmes multi-agents organisationnels*. Thèse de doctorat en informatique, Université de Neuchâtel, Suisse, 54, 64, 65, 67, 111, 113, 147, 284, 303., 2003.
- [Andjiga, Chantreuil, Lepelley, 2003], La mesure du pouvoir de vote, Working Paper 03-01 <http://w3.rennes.inra.fr/economie/pdf/WP03-01.pdf>, 2003.
- [Argyris & Schön, 1978] Argyris C.& D., Schön,D., *Organizational learning : a Theory of Action Perspective*, Addison Wiley, Reading (Mass.), 1976.
- [Aron, 1976] Aron, R., *Les étapes de la pensée sociologique*, Gallimard, 1976.
- [Arrow, 1951] Arrow, K. J., *Social Choice and Individual Values*, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney 1963
- [Audras et al., 2004] Audras S., Marina C, Mailliard M.. Regards croisés entre informaticiens, politologues et sociologues sur l'émergence des Pays en Midi-Pyrénées. Dans : Aix Croisées Scientifique,ACS'04, Aix en Provence, 16-SEP-04-17-SEP-04, xx, septembre 2004.
- [Austin, 1962] Austin, J., *How to do Things with Words*, Oxford U.P., 1962; tr. fr. G. Lane, *Quand dire, c'est faire*, Paris, Seuil, 1970.
- [Axelrod, 1984] Axelrod, R., *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books.
- [Axelrod, 1992] Axelrod, R., *Donnant, donnant. Théorie du comportement coopératif*. Editions Odile Jacob, 1992.
- [Axelrod, 1997] Axelrod, R., *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press, 1997.
- [Barreteau & Daré, 2007] Barreteau O., Daré W., *Role-playing games in a variety of cultures : Experiences from the ComMOd group*. In : 38th Conference of the ISAGA "International Simulation and Gaming Association", 9-13 July 2007, Nijmegen, The Netherlands. s.l. : s.n., [4] p.. ISAGA Conference. 38, 2007-07-09/2007-07-13, Nijmegen, Pays-Bas.
- [Barreteau et al., 2003] Barreteau, O., and others, *Our Companion Modelling Approach*, 2003.
- [Barreteau, 2003] Barreteau, O., *The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of associations*, JASSS, 2003, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/3.html>.
- [Bedeau, 2006] Bedau, Mark A., *Artificial Life Special Issue on Visualization for Complex Adaptive System*, Bedau, Mark A. (ed.) MIT Press Journals: London, Vol.12, Number 2, Spring, 96 pp., 2006.
- [Bentham, 1789] Bentham, J., *Introduction to the Principles of Morals and Legislation*, 1789.
- [Bernoux, 1985] Bernoux, P., *La sociologie des organisations*, Editions du Seuil, Paris, 1995.
- [Bernoux, 1995] Bernoux, P., *La Sociologie des entreprises*, coll. Points, no 308, Seuil, Paris, 1995.

- [Berthelot, 2000] J.-M. Berthelot. Sociologie. L'épistémologie d'une discipline. Bruxelles, De Boeck, 2000.
- [Berthelot, 2001] Berthelot, J.M., *Epistémologie des sciences sociales*, Paris, PUF, 2001.
- [Berthoz, 2003] Berthoz A., *La Décision*, Odile Jacob, Paris, 2003.
- [Blau, 1964] Blau P.M. Exchange and power in social life, Wiley, New York, 1964.
- [Blau, 1964] Blau, P., *Exchange and Power in Social Life*, New York, John Wiley and Sons, 1964.
- [Boltanski & Chapello, 1999] Boltanski, L. , Chapello, E., *Le Nouvel Esprit du capitalisme*, Gallimard, Paris, 1999.
- [Boltanski & Thévenot, 1991] Boltanski, L. et Thévenot L., *De la Justification. Les économies de la grandeur*, Paris, Gallimard, 1991.
- [Boudon, 1973] Boudon, R., *L'Inégalité des chances*, Paris, Hachette, rééd. 2001.
- [Boudon, 1999] Boudon, R., *Le Sens des valeurs*, PUF, Paris, 1999.
- [Bourdieu & Passeron, 1964] Bourdieu, P., Passeron, J.C., *Les héritiers*, Editions de Minuit, Paris, 1964.
- [Bourdieu & Passeron, 1970] Bourdieu, P., Passeron, J.C., *La reproduction*, Editions de Minuit, Paris, 1970.
- [Bousquet et al., 2006] Bousquet, F., *La modélisation d'accompagnement au service d'une gestion résiliente des ressources en eau = Companion modeling for resilient water management* Bousquet F., Barnaud C., Barreteau O., Cernesson F., Pongchai D., Dung L.C., Ekasingh B., Gajaseni N., Chu Thai Hoanh, Le Page C., Naivinit W., Promburom P., Raj Gurung T., Ruankaew N., Trébuil G.. 2006. In : Despréaux Denis (ed.), Frison Emile A. (ed.), Hubert Bernard (ed.), Lantin Manuel M. (ed.). *La France et le CGIAR : delivering scientific results for agricultural development*. Washington : CGIAR, p. 106-109, 2006.
- [Bousquet & Trébuis, 2005] Bousquet F., Trébuil G..., In : Bousquet François (ed.), Trébuil Guy (ed.), Hardy Bill (ed.). *Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia*. Metro Manila : IRRI, p. 1-17, 2005.
- [Brooks, 1990] Brooks, R. A., *Elephants Don't Play Chess*, Robotics and Autonomous Systems 6, 3-15, 1990.
- [Burns & Stalker, 1966] Burns, T., & Stalker G. M., *The Management of Innovation*, Tavistock, Londres, 1966. , [Burt, 1995] Burt R., Toward a structural theory of action, New York, Academic Press, 1982 - Structural Holes. The Social structure of competition, (1992), Cambridge, Harvard University Press, 1995
- [Carabelea et al., 2004] Carabelea C., Boissier O., Castelfranchi C., Using Social Power to Enable Agents to Reason About Being Part of a Group. ESAW 2004: 166-177 , 2004.
- [Castelfranchi & Falcone, 2000] Castelfranchi C., Falcone R., Trust and Control: A Dialectic Link. *Applied Artificial Intelligence Journal*, , 799-823, 2000.
- [Castelfranchi, 1990], Castelfranchi C., Social Power: a missed point, in DAI, MA and HCI. In Decentralized AI. Y. Demazeau & J.P.Mueller (eds) (Elsevier) , 1990.
- [Castelfranchi, 1992] Castelfranchi C., Cesta A., Miceli M., Dependence relations among autonomous agents. In Werner E., Demazeau Y. (Ed.), Decentralized A.I.-3 Amsterdam: Elsevier., 1992.
- [Cefaï, 2007] Cefaï, D., *Pourquoi se mobilise-t-on ? Les théories de l'action collective*. La découverte / M.A.U.S.S., p.1-36., 2007.
- [Chandler, 1962-1989] Chandler, A., *Strategy and Structure*, Chapters in the History of the Industreial Enterprise, M.I.T., 1962 (trad. franç., Stratégies et structures de l'entreprise, Éditions d'organisation, Paris, 1972 ; rééd. Les Classiques E.O., 1989.
- [Chattoe, 1998] Chattoe, E., *Just How (Un)realistic are Evolutionary Algorithms as Representations of Social Processes?*, 1998.
- [Chevrier et Huguet, 2006] Chevrier, V., Huguet, M.P., *Systèmes multi-agents, articulation entre l'individuel et le collectif*. Actes des JFSMA 2006. 18-20 octobre 2006, Annecy, France.
- [Chomsky, 1988] Chomsky, N., *Language and Problems of Knowledge*, M.I.T. Press, 1988.
- [Cohen et al., 1972] Cohen, M.D., March, J.G., Olsen J. P., *A garbage can model of organizational choice*.

- Administrative Science Quarterly, 17(1):1–25, 1972.
- [Coleman, 1990] Coleman, J.S., *Foundations of Social Theory*, Cambridge, Harvard Univ. Press, 1990.
- [Conte & Castelfranchi, 1993] Conte R., Castelfranchi C.. Norms as mental objects. From normative beliefs to normative goals. From reaction to cognition, , pp.186-199, 1993.
- [Conte & Paolucci, 2001] Conte, R., Paolucci, M., *Intelligent Social Learning*. Journal of Artificial Societies and Social Simulation JASSS vol. 4, no. 1., 2001.
- [Conte & Sichman, 1995] Conte, R., Sichman, J., *DEPNET: How to benefit from social dependence*. Journal of Mathematical Sociology. Vol.20. 2--3. 161-177, 1995.
- [Combettes et al., 2006] Combettes, S., Hanachi C., Sibertin-Blanc C.. Organizational Petri Nets for protocol design and enactment , International Conference on Autonomous Agents archive , Hakodate, Japan , 2006.
- [Crozier & Friedberg, 1977] Crozier, M., Friedberg, E., *L'Acteur et le système, les contraintes de l'action collective*, Seuil, Paris, 1977.
- [Crozier, 1951] Crozier, M., *Usines et syndicats américains*. Collection « Masses et Militants », Les Editions Ouvrières, 12, avenue Soeur-Rosalie, Paris, 1951.
- [Crozier, 1963] Crozier, M., *Le phénomène bureaucratique. Essai sur les tendances bureaucratiques des systèmes d'organisation modernes et sur leurs relations en France avec le système social et culturel*, Paris, Editions du Seuil, 1963.
- [Crozier, 2005] Crozier, M., *Organisation (Théorie des)*, Dictionnaire de la pensée sociologique, PUF, Paris, 2005.
- [Cyert & March, 1963] Cyert, R.M., March, J.G., *A Behavioral Theory of the Firm*, Review author[s]: Sidney G. Winter, Jr., The American Economic Review, Vol. 54, No. 2, Part 1., Mars 1964, pp. 144-148.
- [Dash, Parkes, Jennings, 2003] Dash, R. K., Parkes, D. and Jennings, N. R.. Computational Mechanism Design : A Call to Arms. IEEE Intelligent Systems 18(6) pp. 40-47., 2003.
- [Degenne & Forsé, 1994] Degenne A., Forse M., Les réseaux sociaux. Une approche structurale en sociologie, Paris, Armand Colin, coll. "U", 1994 .
- [Delahaye, 1992] Delahaye, J. P., *L' altruisme récompensé ?* Pour La Science (French Edition of Scientific American), 181:150-156., 1992.
- [Demazeau, 1996] Demazeau, Y. *Vowels*. In Invited lecture, 1st Ibero-American Workshop on Distributed AI and Multi-Agent Systems , 1996, (IWDAIMAS'96), Mexico.
- [DESIRE] The DESIRE Research Programme. [http ://www.cs.vu.nl/vakgroepen/ai/projects/desire](http://www.cs.vu.nl/vakgroepen/ai/projects/desire).
- [Dugatkin, 1997] Dugatkin, L.A., *Cooperation among Animals: An Evolutionary Perspective*. Oxford University Press, 1997.
- [Durance, 2006] Durance P., *Les Entretiens de la Mémoire de la Prospective : Michel Crozier, sociologue, membre de l'Institut*, 2006. www.cnam.fr/lipsor/laboratoire/recherche/data/michel_crozier.pdf
- [Durand & Weil, 2006] Durand, J.P., Weil, R., *Sociologie contemporaine*. 3ème édiion Vigot, Paris, 2006.
- [Falcone & Conte, 1997] Falcone R., Conte, R., *Norms Obligations and Conventions*. *AI Magazine*, 1997, pp.145-147.
- [Fayol, 1916] Fayol, H., *Administration industrielle et générale*, Dunod, Paris, rééd. 1979 .
- [Felsenthal et Machover, 1998] Felsenthal D.S., Machover M., *The Measurement of Voting Power: Theory and Practice, Problems and Paradoxes*, Edward Elgar. 1998 .
- [Ferber 1999] Ferber, J., *Multi-Agent Systems*. Addison-Wesley, 1999.
- [Ferber et al., 2005] Ferber, J., F., Michel, and J. Baez, 'AGRE: Integrating environments with organizations'. In: D. Weyns, V. Parunak, and F. Michel (eds.): *Environments for Multiagent Systems*, Vol. 3374 of Lecture Notes in Computer Science, 2005. Springer-Verlag.
- [Ferber et Gutknecht, 1998] Ferber, J., Gutknecht, O., *A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems*. Dans ICMAS, 1998, pages 128–135. IEEE Computer Society.

- [Ferrand, 2000] Ferrand, N., *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires*. Colloque SMAGET : Modèles et Systèmes Multi-Agents pour la Gestion de l'Environnement et des Territoires, Clermont-Ferrand, 5-8 octobre 1998, Cemagref Editions, Antony, Coll. Actes de colloque, 2000. 466 p.
- [Flasche & Macy, 2002] Flache A., Macy, M.W., *Stochastic colusion and the power law learning*. Journal of Conflict Resolution, 2002.
- [Forrester, 1961] J. W. Forrester. Industrial Dynamics, The M.I.T. Press, Cambridge (Mass.), 1961.
- [Friedberg, 1993] Friebberg, E., *Le Pouvoir et la Règle: Dynamiques de l'action Organisée*, Éditions du Seuil, 1993.
- [Friedberg, 1993] Friedberg E., *Le pouvoir et la règle*, Seuil, Paris, 1993.
- [Gilbert & Troiszcht, 1999] Gilbert, N., & Troitzsch, K.G., *Simulation for the Social Scientist*. Buckingham: Open University Press, 1999. Cloth: ISBN 0-355-19745-0; Paper: ISBN 0-335-19744-2
- [Goldberg, 1991] Goldberg, *What Every Computer Scientist Should Know About Floating-Point Arithmetic*, by David Goldberg, published in the March, issue of Computing Surveys. Copyright 1991, Association for Computing Machinery, Inc.
- [Granovetter, 1978] Granovetter, M., *Threshold Models of Collective Behavior*. The American Journal of Sociology, Vol. 83, No. 6. (May, 1978), pp. 1420-1443.
- [Grice, 1975] Grice, P., *Logic and Conversation in Syntax and Semantics 3* : Speech Acts, Coles & Morgan, New-York, Academic Press, p. 41-58, 1975 ; tr. fr. par F. Berthet & M. Bozon, « Logique et conversation », Communications, Paris, Seuil, juin 1979, n° spécial 30, p. 57-72.
- [Gruber, 1993] Gruber, T. R., *Formal ontology in conceptual analysis and knowledge representation*. Chapter: Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. Kluwer Academic Publishers 1993.
- [Gutknecht et al., 2001] Gutknecht, O., Ferber, J., Michel, F, *Integrating tools and infrastructures for generic multi-agent systems*. In: *Proceedings of the fifth international conference on Autonomous agents*, AA 2001, ACM Press 2001, p.441–448.
- [Han, 2005] Han, J. Y. Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection. In *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* , 2005.
- [Hanachi & Sibertin-Blanc, 2004] C. Hanachi, C. Sibertin-Blanc. Protocol Moderators as Active Middle-Agents in Multi-Agent Systems. Dans : *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, V. 8 N. 3, p. 131 - 164, avril 2004.
- [Herzig et al., 2008] Andreas Herzig, Emiliano Lorini, Jomi F. Hübner, Jonathan Ben-Naim, Olivier Boissier, Cristiano Castelfranchi, Robert Demolombe, Dominique Longin, Laurent Perrussel, Laurent Vercouter. Prolegomena for a logic of trust and reputation. Dans : *3rd International Workshop on Normative Multiagent Systems (NorMAS 2008)*, Luxembourg, 15-JUL-08-16-JUL-08.
- [Hirschman, 1970-1995] A. Hirschman, A., *Exit, Voice and Loyalty, Responses to Decline in Firms, Organizations and States*, Harvard University Press, Cambridge, 1970 (trad. franç., Face au déclin des entreprises et des institutions, Éditions ouvrières, Paris, 1972 ; nouv. trad., Défection et prise de parole, Fayard, Paris, 1995)
- [Hoffmann, 2000] Hoffmann, R., *Twenty Years on: The Evolution of Cooperation Revisited*, Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS) vol. 3, no. 2, 2000.
- [Hofstede, 1987] Hofstede, G. et al., *Les différences culturelles dans le management, comment chaque pays gère-t-il ses hommes ?*, Éditions d'organisation, Paris, 1987.
- [Holland & Reitman, 1978] Holland, J.H. & Reitman, J.S., *Cognitive Systems based on Adaptive Algorithms*, In D.A. Waterman & F.Hayes-Roth, (eds) *Pattern-directed inference systems*. NY: Academic Press, 1978.
- [Holland et al., 2000] Holland, J., Booker, L.B., Colombetti, M., Dorigo, M., Godberg, D.E., Forrest, S., Riolo, R., Smith, R.E., Lanzi, P.L., Soltzmann, W., Wilson, S.W., *What Is a Learning Classifier System?* LCS'99, LNAI 1813, 3-32, 2000.

- [Homans, 1958] « Social Behavior as Exchange. » *American Journal of Sociology* 63:597-606, 1958
- [Iribarne, 1989] Iribarne, P., *La Logique de l'honneur, gestion des entreprises et traditions nationales*, Seuil, Paris, 1989.
- [Jones & Sergot, 1996] Jones A., and Sergot, M.. A formal characterisation of institutionalised power. *IGPL*, 4(3), 1996
- [Kahneman & Tversky, 1979] Kahneman, D., Tversky, A., *Prospect theory: An analysis of decisions under risk*. *Econometrica*, 47, 313-327, 1979.
- [Kubera et al., 2008] Kubera, Y., Philippe Mathieu, Sébastien Picault, *Interaction-Oriented Agent Simulations: From Theory to Implementation*. ECAI, 2008.
- [Kuhn, 1962] Kuhn, T., *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press, 1962.
- [Lawrence & Lorsch, 1967-1989] Lawrence, P., Lorsch, J., *Organization and Environment*, Homewood, Richard D. Irwin, (trad. franç., Adapter les structures de l'entreprise, intégration ou différenciation, Éditions d'organisation, Paris, 1973 ; rééd. Les Classiques E.O., 1989.
- [Le Moigne, 1989] Le Moigne, J-L., *La Modélisation des systèmes complexes*, coll. technologie de pointe, éd. Hermès, Paris, 1989.
- [Le Moigne, 1995] Le Moigne, J.L., *Les épistémologies constructivistes*, PUF Que Sais-je ?, Paris, rééd. 1999.
- [Lee & Hudson, 2008] Lee, J., Hudson, S, "Foldable Interactive Displays" , in reviewing process, 2008.
- [Lindenberg, 1992] Lindenberg, S., *The method of decreasing abstraction*, dans *Rational Choice Theory: Advocacy and Critique*, J.S.C.T.J.Fararo (ed.), Sage Publications, pp.3-20, 1992.
- [LiNeTT, 2007] , A Little NeTwork ToolkiT, <http://sourceforge.net/projects/linett/>, 2007.
- [Littman, 1994] Littman, M. L., *Markov games as a framework for multi-agent reinforcement learning*, In *Proceedings of the Eleventh International Conference on Machine Learning*, 1994 .
- [Lopez y Lopez & Luck, 2002] Lopez y Lopez, F. Luck, M., Empowered Situations of Autonomous Agents, in *Advances in Artificial Intelligence - IBERAMIA 2002, The 8th Iberoamerican Conference on AI*, F. Garijo, J. Riquelme and M. Toro (eds.), Springer-Verlag, LNAI 2527, 585-595, 2002.
- [Macy & Flasche, 2002] Macy, M.W., Flasche, A., *Learning Dynamics in Social Dilemmas*. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* May 14;99(10):7229-36), 2002.
- [Mailliard et al. 2005] Matthias M., Amblard F., Sibertin-Blanc, C., *Simuler, comprendre et rendre intelligible l'émergence des Pays : le cas complexe du Pays Quercy-Rouergue*. Dans : *Joint Conference on Multi-Agent Modeling for Environmental Management (CABM-HEMA-SMAGET 2005)*, Bourg-Saint-Maurice, France, 21-25 mars 2005.
- [Mailliard et al., 2005] Mailliard, M., Amblard, F., Pons, P., Roggero, P., Sibertin-Blanc, C., *Cooperation is not always so simple to learn....* Dans : *AESCS'05 : Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems, Tokyo-Japan*, 9 juillet 15 juillet 2005
- [Mailliard et al., 2005] Mailliard, M., Amblard, F., Sibertin-Blanc, C., *Simuler, comprendre et rendre intelligible l'émergence des Pays : le cas complexe du Pays Quercy-Rouergue*. Dans : *Joint Conference on Multi-Agent Modeling for Environmental Management (CABM-HEMA-SMAGET 2005)*, Bourg-Saint-Maurice, France, 21-25 mars 2005.
- [Mailliard et al., 2005] Mailliard, M., Roggéro, P., Sibertin-Blanc, C., *L'émergence des Pays : une étude par simulation multi-agents de l'auto-organisation institutionnelle*. Dans : *Anthropolitique et gouvernance des systèmes complexes territoriaux*. P Roggéro (Eds.), p. 338-356, Presse de l'Université Tlse 1, janv 2005.
- [Mailliard et al., 2006] Mailliard, M., Roggero, P., Sibertin-Blanc, C., Amblard F., *Un modèle du comportement stratégique des acteurs au sein d'un Système d'Action Concret*. Dans : *Conférence de l'Association Française de Sociologie, Bordeaux, Bordeaux, 05/09/2006-08/09/2006*.
- [Mailliard et al., 2006] Mailliard, M., Roggéro, P., Sibertin-Blanc, C., *Un modèle de la rationalité limitée des acteurs sociaux*. Dans : *Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA'06)*, Annecy,

- 18/10/2006-20/10/2006, V. Chevrier, M-P. Huget (Eds.), Hermès, p. 95-99, octobre 2006.
- [Malone & Crowston, 1994] Malone, T. W. & Crowston, K., *The interdisciplinary study of coordination*. ACM Computing Surveys, 1994 (March), 26 (1), 87-119.
- [Manzo, 2005] Manzo G., *Variables, Mécanismes et simulations : une synthèse des trois méthodes est-elle possible ? Une analyse critique de la littérature*, Revue Française de sociologie, 46, 1, 37-74, 2005.
- [March & Simon, 1958] March J. G., Guetzkow H. et Simon H., *Organizations*. New York: John Wiley & Sons, 1958.
- [March, 1991] Exploration and Exploitation in Organizational Learning. James G. March, Organization Science, Vol. 2, No. 1, Special Issue: Organizational Learning: Papers in Honor of (and by) James G. March, pp. 71-87, 1991.
- [Mauss, 1924] Mauss, M., *Essai sur le don. Forme et raison de l'échange dans les sociétés archaïques*. Année Sociologique, seconde série, 1923-1924
- [MCX-ACP] Site web du Programme européen MCX "Modélisation de la CompleXité" et de l'Association pour la Pensée Complexe. <http://www.mcxapc.org>.
- [Mill, 1861] Mill, J. S. M., *On Liberty / L'utilitarisme*. 1861 Traduction française de Georges Tanesse à partir de la 4e édition anglaise parue en 1871 du vivant de Mill. Edition électronique de Jean-Marie Tremblay, 2002, collection: *Les classiques des sciences sociales*, http://www.uqac.quebec.ca/zone30/Classiques_des_sciences_sociales/index.html, 1861.
- [Minsky, 1968] Minsky, M., *Matter, Mind and models*. Proc. IFIP Congress 65, Vol. 1, pp. 45-49 Spartan Books, Washington, D. C., 1968.
- [Minsky, 1987] Minsky, M., *The Society of Mind*, Simon and Schuster, The first comprehensive description of the Society of Mind theory of intellectual structure and development, 1987.
- [Mintzberg, 1978-1986] Mintzberg, H., *The Structuring of Organizations : a Synthesis of the Research*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N.J.), 1978 (trad. franç., Structure et dynamique des organisations, Éditions d'organisation, Paris, 1982) ; *Power in and around Organizations*, Prentice Hall, 1983 (trad. franç., Le Pouvoir dans les organisations, Éditions d'organisation, Paris, 1986)
- [Molm, 1991] Molm, L. D., *Affect and Social Exchange: Satisfaction in Power-Dependence Relations*. American Sociological Review, Vol. 56, No. 4 , Aug., 1991, pp. 475-493.
- [Molm, 1997] Molm, L., *Coercive power. in social exchange*. Cambridge (Royaume-Uni), University Press, 1997.
- [Molm, 1997] Molm, L., *Coercive Power in Social Exchange*, Cambridge Univ Pr (Sd), 28 janvier 1997.
- [Moreno , 1934] Moreno J. L., in *Who shall survive ?*, (1934), trad. par Lesage H., Paris, PUF, 1970 .
- [Moreno, 1986] Moreno, J. L., *Théâtre de la spontanéité*, 1986.
- [Morin, 1977] Morin, E., *La Méthode, (t.1). La Nature de la Nature*, Le Seuil. Édition de poche, collection "Points", rééd. 1981.
- [Morin, 1996] Morin, E., *Pour une réforme de la pensée*. Entretiens Nathan des 25 et 26 novembre 1995, Editions Nathan 1996, <http://www.mcxapc.org/docs/conseilscient/morin3.htm>
- [Morin, 2005] Morin, E., *Introduction à la pensée complexe*, Paris, Seuil, 2005.
- [Nash, 1950] Nash J.F., *Equilibrium Points in N-person Games*, Proceedings of the National Academy of Sciences 36, 1950, 48-49, 1950.
- [Nash, 1951] Nash J., *Non-Cooperative Games*, The Annals of Mathematics, 2nd Ser., Vol. 54, No. 2., pp. 286-295, Sep. 1951.
- [Neumann, 1927] Neumann, J. v., 1927. *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele*. Mathematische Annalen Bd. 100. Berlin, Springer 1928 , p. 295-320.
- [Odell & Parunak, 2002] *Modeling Agents and their Environment*, James Odell, H. Van Dyke Parunak, Mitch Fleischer, and Sven Breuckner, Agent-Oriented Software Engineering (AOSE) III, F. Giunchiglia, James

- Odell, Gerhard Weiss, eds., *Lecture Notes on Computer Science* volume 2585, Springer, Berlin, 2002, pp 16-31.
- [Orléan, 1990] Orléan, A., *Contagion mimétique et bulles spéculatives*, in Cartelier J. (éd.), *La formation des grandeurs économiques*, coll. "Nouvelle Encyclopédie Diderot", Presses Universitaires de France, 1990, 285-321. ISBN 2-13-042875-4
- [Platon, 1979] Platon, 1979. *Le Banquet*, Editions de l'Aire, collection classiques de poche.
- [Platon, 1999] Platon, *La République*, Livre VII. Nathan, réed. 1999..
- [Popper, 1935] Popper, K. R., *La Logique de la découverte scientifique*. trad. fr. 1973, rééd. Payot, coll. « Bibliothèque scientifique », 1995.
- [Ramat et al., 1999] Ramat, E., Preux, P., Seuront, L., Lagadeuc, Y., *Multi-agent modeling of the physical/biological coupling - A case study in marine biology*, Technical Report LIL-99-3, Fév 1999.
- [Robert & Lorent, 2002] Robert, D., Lorent, P., *L'Affaire ClearStream racontée à un ouvrier de chez Daewoo*. Film réalisé par Denis Robert et Pascal Lorent, 2002.
- [Roggero & Sibertin-Blanc, 2007] Roggero, P., Sibertin-Blanc, C., *Approche complexe de l'action organisée: formalisation et simulation orientée agents des systèmes d'action concrets*. Dans : *Systèmes complexes en sciences humaines et sociales*, Centre culturel international de Cerisy-La-Salle, 26/05/2007-02/06/2007, Sharon Peperkamp, Gérard Weisbuch (Eds.).
- [Roggéro & Sibertin-Blanc, 2007] Roggero, P., Sibertin-Blanc, C., *Les approches systèmes complexes*. Dans : *Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales*, *Prise de Parole*, V. 2 N. 2, mars 2007.
- [Roggéro & Vautier, 2008] P. Roggéro, C. Vautier. *Concert'eau : contribution à la modélisation SMA à une gestion participative de la gestion de l'eau*. Communication au XVIIIème congrès international des sociologues de langue française, istambul, 7-11 juil 2008.
- [Roggéro, 2006] Roggéro, P., *De la complexité en sociologie Evolutions théoriques, développements méthodologiques et épreuves empiriques d'un projet sociologique*. Rapport d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Toulouse 1, décembre 2006.
- [Rosenschein & Zlotkin, 1994], *Rules of Encounter*, J.S. Rosenschein, G. Zlotkin. MIT Press, 1994
- [Russel, 1995] Russel, S., *Rationality and Intelligence*, Invited paper (Computers and Thought Award), in Proc. Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Montreal, Canada, 1995
- [Sandri & Sibertin-Blanc, 2007] Sandri, S., Sibertin-Blanc, C., *Transposing the Sociology of Organized Action into a fuzzy environment*. Dans : *European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU 2007)*, Hammamet, Tunisie, 31/10/2007-02/11/2007, 2007
- [Sandri & Sibertin-Blanc, 2007] Sandri, S., Sibertin-Blanc, C., Torra, V., *A Multicriteria Fuzzy System Using Residuated Implication Operators and Fuzzy Arithmetic*. Dans : *IEEE International Conference on Pervasive Systems (MAPS 2007)*, Kitakyushu, Japon, 16/08/2007-18/08/2007, Volume 4617, V. Torra, Y. Narukawa, Y. Yoshida (Eds.), Springer-Verlag, LNAI, p. 57-67, 2007.
- [Sandri & Sibertin-Blanc, 2008] Sandra Sandri, Christophe Sibertin-Blanc. *A Multicriteria System using FUuzzy Gradual Rule Bases and Fuzzy Arithmetic*. Dans / In: *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, World Scientific Publishing, 2008
- [Schelling, 1971] Schelling, T., *Dynamic Models of Segregation*, *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, n°1, pp.143-186, 1971.
- [Schelling, 1978] T. Schelling. *Micromotives and Macrobehavior*, W. W. Norton and Co., 1978.
- [Searle, 1985] Searle, J., *Intentionality, an Essay in the Philosophy of Mind*, Cambridge U. P. 1985.
- [Ségrestin, 1992] Segrestin, D., *Sociologie de l'entreprise*, coll. U, Armand Colin, Paris, 1992.
- [Sen, 1979] Sen, A., *Equality of What ?*, The tanner lecture on human values. Delivered at Stanford University May 22, 1979. <http://www.tannerlectures.utah.edu/lectures/documents/sen80.pdf>.

- [Sen, 1981] Sen, A., 1981. *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation*. An Essay on Entitlement and Deprivation. (Study undertaken for the World Employment Programme, launched by the International Labour Organisation in 1969). Oxford University Press, 1981.
- [Shannon & Weaver, 1949] Shannon, C.E., Weaver, W., *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [Sibertin-Blanc & Amblard, 2005] Sibertin-Blanc, C., Amblard, F., *Un cadre d'interaction fondé sur la Sociologie de l'Action Organisée*. Dans : *MFI'05, Actes des 3èmes journées Francophones Modèles Formels de l'interaction*, Cépadués, 25 - 27 mai 2005. A Herzig, Y Lespérance, A-I Mouabdid (Eds.), Cépadués, p. 241-247.
- [Sibertin-Blanc & Mailliard, 2006] Sibertin-Blanc, C., Mailliard, M., *Un modèle de rationalité orienté vers la coopération*. Dans : *Journées Francophones sur la Planification, la Décision et l'Apprentissage*, Toulouse, 10 -12 mai 2006, Frédéric Garcia, Gérard Verfaillie (Eds.), INRA - ONERA, p. 57-64, mai 2006. URL: <http://carlit.toulouse.inra.fr/JFPDA>.
- [Sibertin-Blanc & Roggéro, 2004] Sibertin-Blanc, C., Roggéro P., *Vers une formalisation de l'analyse stratégique*. Communication au XVIIe Congrès de l'AISLF (Association Internationale des Sociologues de Langue Française), Tours, 7 – 10 Juillet 2004.
- [Sibertin-Blanc et al., 2006] Sibertin-Blanc, C., Amblard, F., Mailliard, M., *A coordination framework based on the Sociology of Organized Action*. Dans *Coordination, Organizations, Institutions and Norms in Multi-Agent Systems*. O. Boissier, J. Padget, V. Dignum, G. Lindemann (Eds.), Springer, p. 3-17, V. 3913, Lecture Notes in Computer Sciences, 2006.
- [Sichman, 1994] Sichman, J. S., *Du Raisonnement Social Chez les Agents: Une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance*, 1994. These de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France, 1995.
- [Simon & Newell, 1972] Simon, H., Newell, A., *Human problem solving*, (avec A. Newell), Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1972.
- [Simon, 1969-1996] Simon, H., A., *The Sciences of The Artificial*, 1969. Les références citées dans le texte renvoient à la traduction de la troisième édition réalisée par Jean-Louis Le Moigne, Editions Gallimard, 2004.
- [Smeth, 200?] Smeth, P., *date inconnue. Le cas de l'agence Travel-Tours*.
- [Smith, 1776] Smith, A., *Recherche sur la nature et les causes de la richesse des nations*. W. Strahan and T. Cadell, Londres, 1776.
- [Smith, 1976] Smith, V. L., *Experimental Economics: Induced Value Theory*, American Economic Review p.274-79, 1976.
- [Sturma, 2007] Sturma, A., *Expertise et interdisciplinarité : L'expérience locale des inondations du 8 et 9 septembre 2002 dans le Sud de la France*. Mémoire de Master 2 Recherche. Toulouse, 2007.
- [Takadama et al., 2003] Takadama, K., and al., *Cross-Element Validation in Multiagent-based Simulation: Switching Learning Mechanisms in Agents*. Journal of Artificial Societies and Social Simulation vol. 6, no. 4, 2003.
- [Taylor, 1902-1967] F. W. Taylor, F.W., *Shop Management*, A.S.M.E., vol. XXIV, 1902 trad. franç., Direction des ateliers, Revue de Métallurgie, juill. 1907 ; rééd. in *Organisation du travail et économie des entreprises*, Les Classiques E.O., Éditions d'organisation, 1990) ; *Principles of Scientific Management*, Harper and Brother, New York, 1911 (trad. franç., *Principes de l'organisation scientifique des usines*, Dunod, Paris, 1912 ; rééd. Poche, Marabout, 1967).
- [Terressac, 2003] Terressac, G, de., *La théorie de la régulation sociale de Jean-Daniel Reynaud*. Sous la direction de Gilles de Terressac, La Découverte, 2003.
- [Thomas, 2005] Thomas, V., *Proposition d'un formalisme pour la construction automatique d'interactions dans les systèmes multi-agents réactifs*, thèse université UHP Nancy 1, 2005.
- [Vautier & Roggéro, 2008] C.Vautier, P. Roggéro. *Concert'eau : une modélisation participative pour la délibération sur les pratiques agricoles face à la gestion durable de l'eau*. Communication au XVIIIème congrès

- international des sociologues de langue française, istambul, 7-11 juil 2008.
- [Vernant, 2005] Vernant, D. *Le paradigme actionnel en philosophie du langage, Entre connaissance et organisation : l'activité collective*, R. Teulier & Ph. Lorino eds., Paris, Éd. de la Découverte, coll. Recherche, 2005, p. 25-53. <http://web.upmf-grenoble.fr/SH/PersoPhilo/DenisVernant/Paradigme%20actionnel.pdf>.
- [Von Neumann & Morgenstern, 1944] Von Neumann, J., Morgenstern, O., *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1944.
- [Walras, 1883] Walras, L., *Théorie mathématique de la richesse sociale*, 1883.
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k57413>.
- [Watkins, 1989] Watkins, C. J., *Learning with Delayed Rewards*, PhD thesis, Cambridge University, 1989.
- [Weyns et al., 2005] Weyns, D., Parunak, V. D., and Michel, F. (eds.). *Environments for Multi-Agent Systems: First International Workshop, E4MAS, 2004*, New York, NY, July 19, 2004, Revised Selected Papers (Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3374) . Springer-Verlag: Berlin, 2005.
- [Weyns et al., 2006a] Weyns, D., Omicini, A., Odell, J., *Environment, First-Class Abstraction in Multiagent Systems, Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 14(1), Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, pp. 5-30, 2006.
- [Weyns et al., 2006b] Weyns, Danny, Dyke, H. van and Michel, Fabien (eds.) . *Environments for Multi-Agent Systems: Second International Workshop, E4MAS 2005*, Utrecht, the Netherlands, July 25, 2005, Selected Revised and Invited Papers: V. 2 (Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3830) . Springer-Verlag: Berlin, 2006.
- [Wiener, 1962] Wiener, N., *Cybernétique et société*. Editions des Deux-Rives, Paris, 1962.
- [Williamson, 2000] Williamson, O., E., September *The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead*, Journal of Economic Literature, vol. 38, pp. 595-613, 2000.
http://www.uv.es/~fatas/ipei/williamson_jel00.pdf.
- [Woodward, 1965] Woodward, J., *Industrial Organization*, Oxford University Press, Londres, 1965 .
- [Young, 1998] Young, H. P., *Individual Strategy and Social Structure: An Evolutionary Theory of Institutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998.
- [Zimbardo, 1971] Zimbardo, P. G., *The power and pathology of imprisonment*. Congressional Record. (Serial No. 15, 1971-10-25). Hearings before Subcommittee No. 3, of the Committee on the Judiciary, House of Representatives, Ninety-Second Congress, *First Session on Corrections, Part II, Prisons, Prison Reform and Prisoner's Rights: California*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.